

甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂发育及存活的影响

荆 英¹, 王奎萍¹, 李 丽¹, 国见裕久², 董文霞^{3*}

(1. 扬州职业大学园林园艺学院, 扬州 225000; 2. 东京农工大学农学院应用生物科学系, 东京 183-8509;
3. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201)

摘要 研究了甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricornis* 发育及存活的影响。正在蜕皮的甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 2龄幼虫被斑痣悬茧蜂寄生后, 当其发育到3龄与4龄时分别饲以95%致死浓度(LC₉₅)或10×LC₉₅甜菜夜蛾核多角体病毒(SpeiNPV), 研究表明: 甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂发育及存活产生不利的影响, 影响程度取决于寄生与饲毒的间隔期以及饲毒量。被寄生的甜菜夜蛾幼虫发育到第3龄(即被寄生后第1天, 1dpp)分别饲以LC₉₅或10×LC₉₅ SpeiNPV的处理, 没有寄生蜂老熟幼虫从寄主体内钻出; 被寄生的甜菜夜蛾幼虫发育到第4龄(4 dpp)分别饲以LC₉₅或10×LC₉₅ SpeiNPV的处理, 分别有25.62%与16.31%寄生蜂老熟幼虫从寄主体内钻出。甜菜夜蛾是否饲毒对寄生蜂的出蜂率、化蛹率及羽化率影响显著; 饲毒浓度影响寄生蜂的出蜂率、化蛹率, 但不影响羽化率。甜菜夜蛾饲毒与否对寄生蜂幼虫及蛹的发育历期无显著影响, 但饲毒甜菜夜蛾体内寄生蜂幼虫、蛹及成蜂显著小于未饲毒的甜菜夜蛾体内寄生蜂幼虫、蛹及成蜂。

关键词 甜菜夜蛾; 斑痣悬茧蜂; 核多角体病毒; 发育; 存活

中图分类号: S 476.13 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018154

Survival and development of *Meteorus pulchricornis* in nucleopolyhedrovirus-infected larvae of *Spodoptera exigua*

JING Ying¹, WANG Kuiping¹, LI Li¹, YASUHISA Kunim², DONG Wenxia³

(1. Department of Landscape and Horticulture, Yangzhou Polytechnic College, Yangzhou 225000, China;
2. Department of Applied Biological Science, Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo 183-8509, Japan;
3. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract The survival and development of the parasitoid *Meteorus pulchricornis* in nucleopolyhedrovirus (NPV)-infected *Spodoptera exigua* larvae were investigated. The second molting stage of *S. exigua* larvae were parasitized by *M. pulchricornis* and subsequently exposed to a 95% lethal concentration (LC₉₅) or 10×LC₉₅ of *S. exigua* NPV (SpeiNPV) during the third or fourth instars. Infection of *S. exigua* larvae with SpeiNPV was deleterious to the survival and development of *M. pulchricornis*. The survival of *M. pulchricornis* in SpeiNPV-infected *S. exigua* larvae was dependent on the interval between parasitization and virus inoculation, as well as on the inoculation dose of SpeiNPV. No parasitoid larvae emerged from the host when the parasitized host larvae were exposed to LC₉₅ or 10×LC₉₅ of SpeiNPV during the third instar, which was the first day post-parasitization (1dpp), but 25.62% and 16.31% of parasitoid larvae emerged, respectively, when on the exposure took place during the fourth instar (4dpp). There were significant differences in the percentages of parasitoid emergence, pupation and adult eclosion between parasitoids developing in SpeiNPV-infected hosts and those in non-infected hosts. Inoculation dose also affected parasitoid emergence and pupation, but did not affect parasitoid adult eclosion. No significant differences were found in the durations of parasitoid larvae and pupae between parasitoids that developing in SpeiNPV-infected hosts and those in non-infected hosts. Body sizes of parasitoids developing in SpeiNPV-infected hosts were significantly smaller than those in non-infected hosts.

Key words *Spodoptera exigua*; *Meteorus pulchricornis*; nucleopolyhedrovirus; development; survival

收稿日期: 2018-04-08 修订日期: 2018-05-14

基金项目: 云南生物资源保护与利用国家重点实验室开放基金(2015-004); 江苏省高等教育教改研究课题立项支持项目(2017JSJG302); 2017扬州市职业大学品牌专业建设项目(ZDPZY04)

* 通信作者 E-mail: dongwenxia@163.com

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 广泛分布在世界热带、亚热带及温带地区,寄主植物多达 200 多种^[1],其中包括大葱、油菜、甘蓝、花椰菜、豇豆、四季豆、番茄、萝卜、马铃薯等作物,甜菜夜蛾除取食植物的叶片外,还钻蛀为害果实。目前,甜菜夜蛾已成为我国和日本大田作物和蔬菜作物的主要害虫之一^[1-2]。甜菜夜蛾核多角体病毒(nucleopolyhedrovirus, NPV)对甜菜夜蛾具有很高的致死作用,且持效期较长,可节本增收^[3-4]。该病毒已在日本滋贺县得以分离与培养^[1],但关于其对甜菜夜蛾的重要天敌-寄生蜂的影响的研究却较少^[5]。

斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricornis* Wesmael 广泛分布在古北区,是一种单寄生的内寄生蜂,是舞毒蛾 *Lymantria dispar* L.、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner、甜菜夜蛾 *S. exigua*、斜纹夜蛾 *S. litura* Fabricius、小菜蛾 *Plutella xylostella* L.、甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae* L.、棉小造桥虫 *Anomis flava* Fabricius 等许多鳞翅目害虫的重要寄生蜂^[6]。斑痣悬茧蜂对甜菜夜蛾的 1~5 龄幼虫均可寄生,但对 2~4 龄幼虫的寄生率高于对 1 龄、5 龄幼虫。

一直以来,协调利用微生物杀虫剂与寄生性天敌以增强不同生物防治技术的综合控害效果,是害虫综合治理实践中面临的重要课题。为此,我们以甜菜夜蛾为寄主,研究了甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂发育及存活的影响,以期增强核型多角体病毒和寄生蜂对甜菜夜蛾的控制效果提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

本试验在东京农工大学农学院应用生物科学实验室完成,试验用昆虫均由室内饲养所得。将甜菜夜蛾幼虫置于塑料容器内(8 cm×15 cm×20 cm)饲以人工饲料^[6],直到化蛹,收集 250 头蛹于一个圆柱形塑料容器(高 8.5 cm,直径 15 cm)内直到羽化,将成虫转移至一纸袋(8 cm×15 cm×20 cm)中,并饲以 10%蔗糖水直至产卵,将卵用 10%福尔马林溶液消毒 15 min,然后用蒸馏水清洗干净。

斑痣悬茧蜂均来自东京农工大学农学院应用生物科学实验室,以甜菜夜蛾幼虫饲养所得,为孤雌生殖蜂,其所产后代全部为雌性。将 60~100 头成蜂装入一塑料容器(高 8.5 cm,直径 15 cm)内,饲以蜂蜜水。用羽化后 5~8 d 的成蜂。饲养条件为温度 25℃,光照 L//D=16 h//8 h。

1.2 甜菜夜蛾核多角体病毒

甜菜夜蛾核多角体病毒(SpeiNPV)由感染活体甜菜夜蛾幼虫进行增殖,并对病毒包涵体(OBs)进行纯化^[7]。病毒原液中病毒包涵体浓度在显微镜下用索玛血球计测量,病毒原液保存在 4℃冰箱中。

1.3 甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂发育历期及存活影响的测定

将斑痣悬茧蜂成蜂置于装有正在蜕皮的甜菜夜蛾 2 龄幼虫的容器(高 8.5 cm×直径 15 cm)内,每容器中放 10 头夜蛾幼虫与 1 头寄生蜂,约 15 h,使其建立寄生关系。被寄生过的甜菜夜蛾幼虫,其中一个处理发育到 3 龄(被寄生后第 1 天,1 dpp)时,通过液滴喂养法饲以 95%致死浓度(LC₉₅)(1.51×10⁵ OBs/mL)或 10×LC₉₅ SpeiNPV^[8-9];另一个处理发育到 4 龄(4 dpp)时分别饲以 LC₉₅(2.39×10⁵ OBs/mL)或 10×LC₉₅的 SpeiNPV。以不饲毒为对照。LC₉₅由概率值分析法预先确定^[1],饲毒后,将甜菜夜蛾幼虫转移至塑料杯(14 mL),每杯 1 头,并放一块人工饲料进行饲养。每天调查记录甜菜夜蛾幼虫体内寄生蜂的出蜂(能否从寄主体内钻出)、化蛹与羽化等情况,直至化蛹或死亡。对没出蜂的甜菜夜蛾活幼虫进行解剖,体内有寄生蜂的做记录,没有被寄生的剔除。对死亡的甜菜夜蛾幼虫进行解剖,以观察有无寄生蜂和/或病毒包涵体,没有寄生蜂和/或病毒包涵体的剔除,每处理 35 头幼虫,重复 3 次。

1.4 甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂幼蜂发育速率的影响

按 1.3 方法使斑痣悬茧蜂成蜂寄生正在蜕皮的甜菜夜蛾 2 龄幼虫。被寄生过的甜菜夜蛾幼虫发育到 4 龄(4 dpp)时分别饲以 LC₉₅(2.39×10⁵ OBs/mL)或 10×LC₉₅的 SpeiNPV。饲毒后,将甜菜夜蛾幼虫转移至塑料杯,人工饲料饲养,方法同 1.3。被寄生与感毒的夜蛾幼虫浸入 Carlson 溶液(0.7% NaCl、0.02% KCl、0.02% CaCl₂、0.01% MgCl₂·6H₂O、0.02% NaH₂PO₄、0.005% NaHCO₃、0.8% 葡萄糖)中,在解剖镜下解剖,并测量夜蛾幼虫体内寄生蜂的体长与体宽。斑痣悬茧蜂幼蜂发育速率用体积 V 表示, $V=\pi/4\times\text{体宽}^2\times\text{体长}$ ^[10]。每处理至少用 10 头幼蜂,以不饲毒为对照。

1.5 甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂蛹及成蜂个体大小影响的测定

将斑痣悬茧蜂成蜂置于含有正在蜕皮的甜菜夜蛾 2 龄幼虫的容器内,使其建立寄生关系。待被寄生的甜菜夜蛾幼虫发育到 4 龄(4 dpp)时分别饲以

LC₉₅ 或 10×LC₉₅ SpeiNPV, 饲毒后, 将甜菜夜蛾幼虫转移至塑料杯(14 mL), 每杯 1 头, 并放一块人工饲料饲养直到出蜂, 将从甜菜夜蛾幼虫体内钻出的蜂转移至塑料杯(14 mL)中继续饲养直至其化蛹与羽化、以不饲毒为对照。分别取 20 头在显微镜下测量蛹茧及成蜂的大小, 蛹茧的大小由体长与体宽表示, 成蜂的大小由头宽表示。

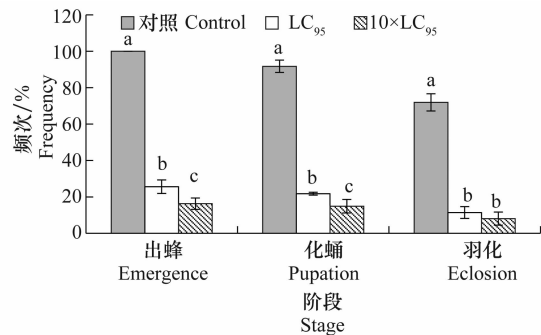
1.6 数据分析

对出蜂率、化蛹率、羽化率、个体大小等数据进行反正弦变换后进行单因素方差分析(ANOVA)。

2 结果与分析

2.1 甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂发育历期及存活的影响

研究结果表明: 被寄生的 3 龄幼虫饲以 LC₉₅ 或 10×LC₉₅ 的病毒后, 均未发现寄生蜂从寄主体内钻出, 表明寄生蜂不能完成发育, 而对照组寄生蜂都可在寄主体内完成发育, 并从寄主体内钻出, 其化蛹率为 59.19%, 羽化率为 53.74%; 被寄生的 4 龄幼虫饲以两种浓度的病毒时, 分别有 25.62% (LC₉₅ 条件下) 与 16.31% (10×LC₉₅ 条件下) 寄生蜂从寄主体内钻出, 化蛹率分别为 21.76% 与 14.92%, 羽化率分别为 11.42% 与 8.07%, 饲喂病毒的寄生蜂幼虫的出蜂率、化蛹率与羽化率均显著低于未饲毒的对照。饲喂 10×LC₉₅ 病毒的寄生蜂幼虫的出蜂率、化蛹率显著低于饲喂 LC₉₅ 病毒的出蜂率、化蛹率, 但两者之间的羽化率差异不显著 (出蜂率, $F=136.47, P<0.05$; 化蛹率, $F=142.07, P<0.05$; 羽化率, $F=39.37, P<0.05$) (图 1)。



图中不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著, 竖线表示标准差。下同
Different lowercase letters on the bars indicate significant difference at $P<0.05$.
Bars indicate standard errors. The same below

图 1 甜菜夜蛾 4 龄幼虫施用核多角体病毒对斑痣悬茧蜂出蜂率、化蛹率及羽化率的影响

Fig. 1 Effects of SpeiNPV on the percentages of *Meteorus pulchricornis* emergence, pupation and adult eclosion when treated during the 4th instar larva of *Spodoptera exigua*

在温度 25℃, L//D=16 h//8 h 条件下, 寄生蜂从产卵到从寄主体内钻出(卵-幼虫期)需 8~11 d, 蛹期为 6~8 d。对照条件(不饲毒)下, 卵-幼虫平均历期为(9.27±0.04)d, 蛹期为(6.72±0.04)d, 当被寄生的 2 龄甜菜夜蛾幼虫发育到 4 龄时分别饲以 LC₉₅ 与 10×LC₉₅ 的病毒, LC₉₅ 条件下, 卵-幼虫平均历期为(9.17±0.17)d, 蛹期为(6.75±0.50)d; 10×LC₉₅ 条件下, 卵-幼虫平均历期为(9.26±0.07)d, 蛹期为(6.85±0.07)d, 两种饲毒浓度处理其卵-幼虫历期和蛹期与对照差异均不显著(卵-幼虫期: $F=0.4694, P>0.05$; 蛹期: $F=0.0041, P>0.05$) (图 2)。

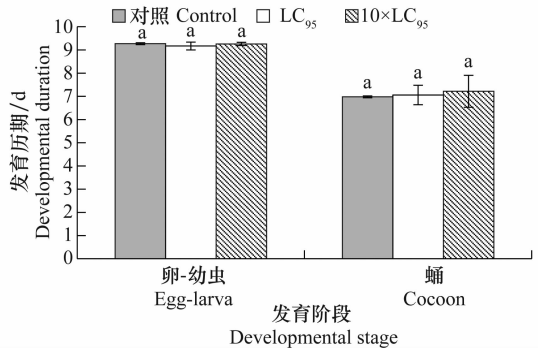


图 2 甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂发育历期的影响
Fig. 2 Developmental durations (d) of *Meteorus pulchricornis* from virus-inoculated host larvae

2.2 甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂幼蜂发育速率的影响

甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂幼蜂发育速率的影响见图 3。

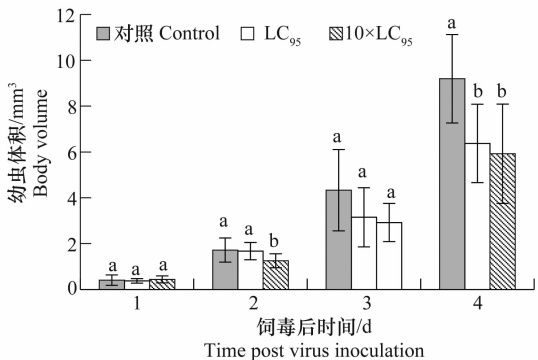


图 3 甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂幼虫发育速率的影响
Fig. 3 Body volumes of *Meteorus pulchricornis* larvae from virus-inoculated host larvae

由图 3 可知: 饲毒后第 1 天, 10×LC₉₅ 处理下的幼蜂体积最大, 但与处理 LC₉₅ 及对照之间差异不显著。从饲毒后第 2~4 天, 对照条件下的幼蜂体积最大, 其次是 LC₉₅, 10×LC₉₅ 处理下的幼蜂体积最小。

饲毒后第2天, LC_{95} 条件下的幼蜂体积与对照之间差异不显著, 但两者均与 $10 \times LC_{95}$ 之间差异显著; 饲毒后第3天, 三者之间差异不显著; 饲毒后第4天, LC_{95} 与 $10 \times LC_{95}$ 条件下的幼蜂体积没有显著差异, 但两者均显著小于对照。(1 dpp, $F=0.52$, $P>0.05$; 2 dpp, $F=4.40$, $P<0.05$; 3 dpp, $F=1.42$, $P>0.05$; 4 dpp, $F=9.17$, $P<0.05$)。

2.3 甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂蛹及成蜂个体大小的影响

甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂蛹及成蜂个体大小产生显著影响。 LC_{95} 与 $10 \times LC_{95}$ 条件下蛹茧的大小(由体长与体宽表示)及成蜂个体大小(由头宽表示)均显著小于对照, 但两种饲毒浓度下的蜂蛹及成蜂个体大小无明显差异(体长, $F=35.31$; $P<0.05$; 体宽, $F=32.57$, $P<0.05$; 头宽, $F=49.05$, $P<0.05$)(图4)。

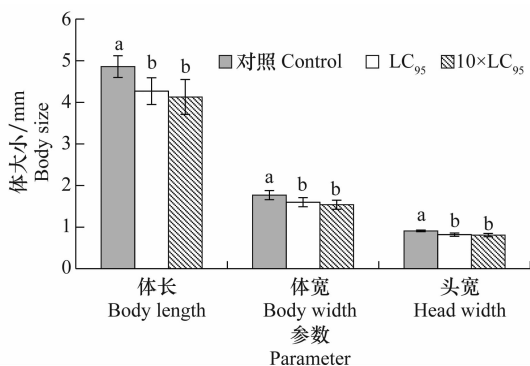


图4 甜菜夜蛾核多角体病毒对斑痣悬茧蜂蛹及成蜂个体大小的影响

Fig. 4 Body sizes of *Meteorus pulchricornis* cocoons and adults from virus-inoculated host larvae

3 结论与讨论

本研究表明, SpeiNPV 对斑痣悬茧蜂的发育及存活均产生明显不利的影响。影响的程度取决于寄生与饲毒的间隔期与饲毒浓度。将要蜕皮的甜菜夜蛾2龄幼虫被寄生后发育到3龄(1 dpp)分别饲以 LC_{95} 或 $10 \times LC_{95}$ SpeiNPV 的处理, 没有寄生蜂从寄主体内钻出, 即幼虫不能完成发育; 将要蜕皮的甜菜夜蛾2龄幼虫被寄生后发育到4龄(4 dpp)分别饲以 LC_{95} 或 $10 \times LC_{95}$ SpeiNPV 的处理, 有一些寄生蜂会完成发育, 从寄主体内钻出。甜菜夜蛾3龄幼虫饲以 LC_{95} 或 $10 \times LC_{95}$ SpeiNPV 后, 约3~6 d死亡, 而斑痣悬茧蜂在寄主体内的发育需8~11 d, 因此, 当将要蜕皮的甜菜夜蛾2龄幼虫被寄生后发育到3龄, 即寄生后第1天饲毒时, 斑痣悬茧蜂没有充

足的时间在寄主体内完成发育; 当寄主被寄生后第4天, 即寄主发育到4龄时饲毒, 一些寄生蜂有充足的时间可以完成发育, 由此可知, 寄主过早死亡是导致寄生蜂发育及存活率低的原因, 类似的结论也有报道^[6, 11-12]。在 $10 \times LC_{95}$ 饲毒条件下的出蜂率、化蛹率显著低于 LC_{95} 条件下的出蜂率、化蛹率, 但两者之间的羽化率差异不显著。高饲毒浓度减少了寄主的存活时间, 因此寄生蜂没有充足的时间在寄主体内完成发育。Guo 等^[13] 研究发现, 用斑痣悬茧蜂和 SpeiNPV 同饲甜菜夜蛾3龄幼虫, 当 SpeiNPV 的浓度为 1×10^3 、 1×10^4 、 1×10^5 OBs/mL 时, 寄生蜂的羽化率不受影响; 当 SpeiNPV 的浓度为 1×10^6 OBs/mL 和 1×10^7 OBs/mL 时, 寄生蜂的羽化率明显降低。用 SpeiNPV 处理甜菜夜蛾幼虫, 1 d 之后接寄生蜂, 当 SpeiNPV 的浓度为 1×10^7 OBs/mL 时, 寄生蜂的羽化率显著降低, 其他浓度则没有影响。Cai 等^[5] 对 SpeiNPV 和双斑侧沟茧蜂 *Microplitis bicoloratus* Chen 在甜菜夜蛾体内的相互作用的研究表明, 在被 SpeiNPV 感染的2~4龄甜菜夜蛾幼虫中, 双斑侧沟茧蜂的成活率随 SpeiNPV 浓度的增高而降低。Nguyen 等^[6] 与 Nakai 等^[14] 也有类似的报道。

SpeiNPV 对斑痣悬茧蜂个体大小的影响更为明显。McCutchen 等^[15] 报道了病毒对寄生蜂个体大小的影响, 证实从感染病毒的寄主体内发育的红足侧沟茧蜂 *Microplitis croceipes* Cresson 的个体显著小于对照(非感毒)。本试验表明从感毒寄主体内发育的寄生蜂茧与成虫明显小于对照(非感毒), 但其不受饲毒浓度的影响。昆虫个体大小是影响生殖力的一个指示因子^[16], 因此, 从感毒寄主体内发育的斑痣悬茧蜂的产卵力可能会下降。Nguyen 等^[6] 研究了感染核多角体病毒的斜纹夜蛾体内发育的斑痣悬茧蜂的产卵力, 证明斑痣悬茧蜂羽化后第4天和第5天, 从感毒寄主体内发育的寄生蜂对寄主的寄生率显著低于非感毒寄主体内发育的寄生蜂对寄主的寄生率, 但第6天, 两者之间没有显著差异。有关病毒对寄生蜂产卵力的影响有很多方面有待于进一步深入研究。

参考文献

- [1] TAKATSUKA J, KUNIMI Y. Lethal effects of *Spodoptera exigua* nucleopolyhedrovirus isolated in Shiga prefecture, Japan, on larvae of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 2002, 37(1): 93-101.

和羽化历期的影响结果不是最大的,这可能与试验的供试虫蛹数量基数不够大,导致蛹羽化的数量较少,再有就是温度是影响这两个指标的主导因子,因而在该处理下蛹历期不是最长,羽化历期不是最久的。此外,因子互作对蛹历期、羽化历期的影响较小,而对羽化率和羽化出土率的影响较大,特别是土壤温度 $\times$ 土壤含水量的互作影响最大,这也说明土壤温度、土壤含水量在成虫羽化过程中具有主导作用。

通过研究不同土壤温度、土壤含水量、土层深度三个环境因子对云南蝠蛾蛹羽化的影响,初步明确了不同环境条件下云南蝠蛾蛹生长发育的规律,云南蝙蝠蛾作为冬虫夏草寄生昆虫,在人工产业化饲养过程中,可以通过控制环境条件,提高蛹的羽化率及羽化出土率,还可为成虫发生期和发生量预测提供参考,以及为生产上其他如饲养饲料、土壤基质、饲养盒等生产资料的准备提供依据。但要应用于云南蝙蝠蛾的规模化饲养,还需要更系统地研究三因子对羽化的影响,进一步缩小各因子梯度及增加上限,以便明确极端条件对羽化的影响。

(责任编辑:田 喆)

(上接 128 页)

- [2] 范锦胜,李张香,王贵强,等. 寄主植物对甜菜夜蛾种群动态的影响[J]. 植物保护,2012,38(4):33-37.
- [3] 徐爱仙. 甜菜夜蛾核型多角体病毒防治蔬菜甜菜夜蛾田间药效试验[J]. 长江蔬菜,2013(6):50-51.
- [4] 葛少彬,梁卿,郑常格,等. 甜菜夜蛾核型多角体病毒研究进展[J]. 中国植保导刊,2015,39(9):16-20.
- [5] CAI Yi, CHENG Zhongshan, LI Chongbi, et al. Biological activity of recombinant *Spodoptera exigua* multicapsid nucleopolyhedrovirus against *Spodoptera exigua* larvae[J]. Biological Control, 2010, 55: 178-185.
- [6] NGUYEN D H, NAKAI M, TAKATSUKA J, et al. Interaction between a nucleopolyhedrovirus and the braconid parasitoid *Meteorus pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae) in the larvae of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 2005, 40 (2): 325-334.
- [7] OKUNO S, TAKATSUKA J, NAKAI M, et al. Viral-enhancing activity of various stilbene-derived brighteners for a *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) nucleopolyhedrovirus [J]. Biological Control, 2003, 26: 146-152.
- [8] HUGHES P R, WOOD H A. A synchronous peroral technique methods for the bioassay of insect viruses [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 1981, 37:154-159.
- [9] HUGHES P R, WOOD H A. *In vivo* and *in vitro* bioassay methods for baculoviruses [M] // GRANADOS R, FEDERICIB A, eds. The biology of baculoviruses, Volume 2. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [10] OHNUMAY, KAINOH Y. Effect of parasitism by *Ascogaster*

参考文献

- [1] 戴玉成,李玉. 中国六种重要药用真菌名称的说明[J]. 菌物学报,2011,30(4):515-518.
- [2] 陈仕江,钟国跃,马开森. 珍稀名贵中药材冬虫夏草资源可持续利用的思考与建议[J]. 重庆中草药研究,2006(2):8-10.
- [3] 朱弘复. 中国动物志:昆虫纲第三十八卷鳞翅目蝙蝠蛾科蛱蝶科[M]. 北京:科学出版社,2004:134-135.
- [4] 刘飞,伍晓丽,张德利,等. 引种云南产冬虫夏草寄生蝠蛾的生物学特性研究[J]. 中国中药杂志,2009,34(4):379-381.
- [5] 尹定华,陈仕江,李黎,等. 西藏冬虫夏草寄生主比如蝠蛾生物学特性的研究[J]. 特产研究,2004(2):1-5.
- [6] 涂永勤,张德利,曾伟,等. 四川小金蝠蛾生物学特性研究[J]. 应用昆虫学报,2011,48(4):990-996.
- [7] 沈发荣,杨大荣,杨埃雄,等. 温、湿度对德钦蝠蛾繁殖力的影响[J]. 动物学研究,1991(3):271-276.
- [8] 涂永勤,张德利,唐毅,等. 温度对小金蝠蛾卵孵化率的影响[J]. 时珍国医国药,2010,21(7):1776-1777.
- [9] 尹定华,傅善全,李泉森. 贡嘎蝠蛾幼虫生物学特性的观察[J]. 昆虫知识,1995(5):289-291.
- [10] 尹定华,傅善全,李泉森,等. 贡嘎蝠蛾蛹的生物学特性[J]. 特产研究,1993(1):3-4.
- [11] HOCHBERG M E. Intra-host interactions between a braconid endoparasitoid, *Apanteles glomeratus*, and a baculovirus for larvae of *Pieris brassicae* [J]. Journal of Animal Ecology, 1991, 60: 51-63.
- [12] KYEI-POKU G K, NAKAI M, KUNIMI Y. The effects of timing and dose of entomopoxvirus infection in *Pseudaletia separata* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae on the development of *Cotesia kariyai* (Hymenoptera: Braconidae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 1999, 34: 517-523.
- [13] GUO Huifang, FANG Jichao, ZHONG Wanfang, et al. Interactions between *Meteorus pulchricornis* and *Spodoptera exigua* multiple nucleopolyhedrovirus [J]. Journal of Insect Science, 2013, 13(12): 1-12.
- [14] NAKAI M, KUNMI Y. Granulosis virus infection of the smaller tea tortrix (Lepidoptera: Tortricidae): effect on the development of the endoparasitoid, *Ascogaster reticulatus* (Hymenoptera: Braconidae) [J]. Biological Control, 1997, 8:74-80.
- [15] MCCUTCHEN B F, HERRMANNR, HEINZK M, et al. Effects of recombinant baculoviruses on a nontarget endoparasitoid of *Heliothis virescens* [J]. Biological Control, 1996, 6:45-50.
- [16] KING B H. Offspring sex ratios in parasitoid wasps [J]. Quarterly Review of Biology, 1987, 62: 367-396.

(责任编辑:田 喆)