

柳毒蛾繁殖生物学的初步观察^{*}

杨 虎^{**} 陈 超 赵荷兰 汤 通 刘旭凌 肖海军^{***} 薛芳森

(江西农业大学昆虫研究所, 南昌 330045)

摘 要 【目的】为了明确柳毒蛾 *Leucoma salicis* (Linnaeus) 交配的日节律高峰, 温度和不同交配持续时间处理对成虫寿命、产卵量和孵化率等繁殖生物学的影响。【方法】将新羽化的柳毒蛾成虫置于养虫笼中, 观察交配的日节律高峰, 并统计不同温度和不同交配持续时间处理下的成虫寿命、产卵量和孵化率。【结果】成虫在羽化当晚的后半夜凌晨开始交尾, 次日晚上开始产卵。成虫交配集中在羽化翌日凌晨 3:00—5:00 之间, 高峰为 4:00。产卵高峰都出现在 2 日龄成虫, 但是, 25℃ 下成虫交配持续时间 (9.2 h) 显著短于 28℃ (11.8 h)。交配持续时间为 30、60 和 300 min 的处理, 雌成虫平均寿命显著长于对照 (对照 9.2 h), 雄虫仅 60 min 的处理显著长于对照。同时, 极短的交配持续时间 (30 min) 显著降低雌虫的产卵量和孵化率。【结论】试验明确了成虫交配的日节律高峰, 在适宜的温度范围内 (25~28℃), 雌雄成虫的寿命、单雌总产卵量无显著差异, 交配持续时间明显影响成虫寿命、产卵量和卵孵化率。

关键词 柳毒蛾, 交配, 寿命, 产卵量, 孵化率

Preliminary study of the reproductive biology of the gypsy moth *Leucoma salicis* (Linnaeus)

YANG Hu^{**} CHEN Chao ZHAO He-Lan TANG Tong LIU Xu-Ling
XIAO Hai-Jun^{***} XUE Fang-Sen

(Institute of Entomology, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract [Objectives] To determine the circadian rhythm of mating, the effect of temperature and duration of mating on aspects of the reproductive biology of the gypsy moth *Leucoma salicis* (Linnaeus), such as adult longevity, oviposition and hatching. [Methods] Newly emerged adults were collected, meanwhile the circadian rhythm, and the effect of temperature on mating, oviposition, and hatching were observed. [Results] The results show that mating started between 03:00 and 05:00 and that the mating peak period was at 04:00. The peak day for female oviposition was the 2nd day after emergence. However, the duration of mating at 25℃ (9.2 h) was significant shorter than that at 28℃ (11.8 h). The duration of mating affected the longevity of both male and females, the longevity of female adults significantly increased compared to the control (9.2 h) when mating was interrupted after periods of 30, 60 or 300 min, respectively. The longevity of male adults was significant longer than the control after only 60 min mating. The shortest mating time of 30 min had the lowest oviposition and egg hatching rates. [Conclusion] There was no difference in the fecundity or longevity of adult males or females at relatively favorable temperatures from 25 to 28℃. However, adult longevity oviposition and hatching rates were significantly affected by the duration of mating.

Key words *Leucomaa salicis*, mating, longevity, oviposition, hatching

温度是昆虫生长发育过程中最重要的生态因子, 昆虫的取食 (Guarneri *et al.*, 2003)、飞行

* 资助项目: 江西省自然科学基金 (2010GZN0034)和江西省教育厅自然科学基金(GJJ12227)

**E-mail: 15070883942@163.com

***通讯作者, E-mail: hjxiao@jxau.edu.cn

收稿日期: 2013-09-18, 接受日期: 2013-11-02

(Taylor, 1963) 和交配 (Horton *et al.*, 2002) 等行为, 以及一些生理生化过程 (Willmer, 1991) 都受到环境温度的显著影响。昆虫的交配行为可以受到环境温度、光周期, 甚至寄主植物等多重生态因子的直接或间接影响 (韩桂彪等, 2000)。温度变化导致昆虫取食、交配等行为的变化, 其中温度对昆虫交配和繁殖的影响尤为显著 (Honek *et al.*, 2003)。昆虫在交配过程中, 雌虫通过延长交配持续时间来获得雄虫更多的精液, 而雄虫则可以转移更多的营养物质。交配过程本身是一个消耗能量的过程, 因此, 在这个过程中, 温度必然会影响雌雄成虫双方的寿命, 以及雌虫的繁殖力。甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 的交配高峰随温度升高而延迟 (王站晟等, 2004)。绿豆象 *Callosobruchus chinensis* 在不同温度下成虫的活动能力有差异, 导致交配持续时间受影响 (Harano and Miyatake, 2005)。3 种捕食性花蝽 *Anthocoris tomentosus*, *A. whitei* 和 *A. nemoralis* 的交配持续时间, 在相对适宜的高温 (25℃) 条件下比相对低温 (15℃) 要明显缩短 (Horton *et al.*, 2002)。

柳毒蛾 *Leucomaa salicis* (Linnaeus), 又名杨雪毒蛾、杨毒蛾、属鳞翅目毒蛾科, 曾用名 *Stilpnotia salicis* (Linnaeus)。以幼虫为害茶树、柳、杨、棉花等 (章士美, 1990), 同时也是农作物棉花的害虫, 在我国分布广泛。猖獗时, 短期内能将树木叶子吃光, 低龄幼虫啃食叶肉, 留下表皮, 长大后咬食叶片成缺刻或孔洞, 严重影响植株生长。柳毒蛾在江西 1 年发生 2~3 代, 以 3 代为主, 以 2~3 龄幼虫在树木下面枯枝落叶层中或树皮缝内结小白茧越冬, 次年 3 月下旬至 4 月上旬外出取食 (章士美, 1990)。目前对该虫的相关研究主要集中在各期特征的描绘和防治方法上 (周先林等, 2009; 康海珍, 2013), 对于其繁殖相关的生物学缺乏研究。

2013 年 6 月, 柳毒蛾在江西农业大学实验站基地的柳树上暴发, 种群数量非常高。在 7 月中旬第一代成虫开始羽化, 7 月中旬达到羽化高峰。我们于羽化高峰日 (7 月 16 至 18 日) 采集了大量新羽化 (翅卷曲或新鲜刚展开) 的成虫, 用于观察交配的日节律高峰, 温度和不同交配持续时间处理对柳毒蛾产卵量和孵化率等繁殖生物学

的影响, 为进一步明确该虫的基础生物学提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2013 年 7 月中旬从江西农业大学 (28°7' N, 115°8' E) 翠湖边的柳树下采集刚羽化的柳毒蛾成虫 (翅尚未展开), 置于养虫笼中 (50 cm × 50 cm × 50 cm)。根据柳毒蛾成虫多在 17:00—19:00 左右羽化的生物学特性 (章士美, 1990), 我们在每日 17:00 将采集地点范围内所有成虫清除, 以确保采集的成虫为当日新羽化的成虫。采集当晚, 每 30 min 观察一次是否有成虫交配, 记录交配时间。以刚羽化并第一次交尾的柳毒蛾成虫进行以下处理试验。

1.2 实验方法

将收集的成虫, 分别置于 25℃ 和 28℃, 由雌雄成虫自由组合交配。当有雌雄成虫交尾成功时, 随即轻轻将其从养虫笼中移出, 并单对置于垫有保湿滤纸的养虫盒中, 在 25℃ 或 28℃ 配合自然光照的恒温培养箱内饲养。单对详细记录羽化时间、交配日期、交配起止时间, 计算交配持续时间 (指从雄虫阴茎插入雌虫生殖器至抽出的时间)。逐日观察交配后雌虫产卵量、观察成虫寿命, 每处理至少观察 35 对成虫。

为了解交配持续时间对柳毒蛾交配后生殖生物学行为的影响, 在 25℃ 下人为设定 4 个交配持续时间: 30, 60, 180 和 300 min, 依次按上述方法记录成虫寿命和产卵动态。并分别收集 4 个处理交配时间雌成虫逐日产卵, 置于放有单片滤纸保湿的培养皿 (d=9 cm) 内观察孵化率。

1.3 数据处理

所有试验数据采用 SPSS17.0 数据处理系统进行统计分析, 对于寿命, 产卵量, 交配持续时间数据应用 One-way ANOVA 进行方差分析, 对于涉及交配率、孵化率等百分率的数据, 则先将数据经反正弦平方根转换后再进行 ANOVA 统计分析, 多重比较采用 Duncan's 方法进行。

2 结果与分析

2.1 柳毒蛾成虫交配节律

对于当日傍晚新采集的成虫,每 30 min 观察一次是否有成虫交配。根据连续 3 d 观察,柳毒蛾成虫大多在羽化翌日凌晨 3:00—5:00 之间交配,交配起始高峰时间为凌晨 4:00 (图 1)。

2.2 不同温度对柳毒蛾繁殖生物学的影响

我们设置了两个比较适宜的温度条件进行柳毒蛾成虫交配、寿命等生物学的观察。结果表明:在 25℃ 和 28℃ 条件下,雌雄成虫寿命、单雌总产卵量均没有显著差异 ($P>0.05$)。但随着温度的升高,雌雄虫寿命都有所缩短。单雌总产卵量随温度的升高亦略有下降,但是差异不显著 (表 1)。

不同温度对柳毒蛾成虫交配持续时间有显著影响 ($F=4.830$; $df=1,69$; $P=0.031$)。25℃ 下成虫的平均交配持续时间是 9.2 h (多数在 4~12 h 之间),而 28℃ 下成虫平均交配持续时间达到 11.8 h (图 2: A)。

图 2 (B) 显示柳毒蛾成虫产卵前期是 1 d。成虫在羽化当晚的后半夜凌晨开始交尾,次日晚上开始产卵。25℃ 和 28℃ 的产卵高峰都出现在 2 日龄成虫。随着时间的推移,每雌逐日产卵量迅

速下降。大多数的个体产卵期集中在前 3 d,小部分个体可以持续 5 d。

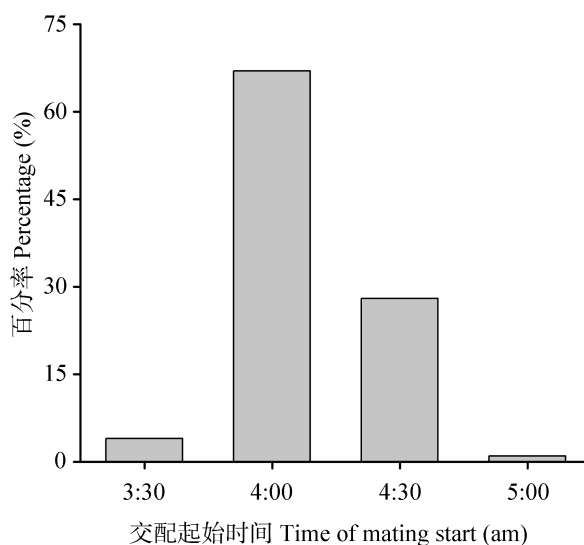


图 1 柳毒蛾成虫交配节律

Fig. 1 The circadian rhythm of mating in the gypsy moth *Leucomaa salicis*

表 1 不同温度下柳毒蛾成虫的生活史参数

Table 1 Life history parameters of adults in the *Leucomaa salicis* under different temperatures

温度 Temperature	雄虫寿命 (d) Longevity of male (d)	雌虫寿命 (d) Longevity of female (d)	总产卵量 (粒/雌) Total number of eggs / female
25℃	5.1±0.3a	4.2±0.3a	316.5±20.5a
28℃	4.3±0.4a	4.1±0.2a	301.5±20.6a
方差分析 ANOVA	$F=2.410$ $df=1, 69$ $p=0.1250$	$F=0.004$ $df=1, 69$ $p=0.9510$	$F=0.264$ $df=1, 39$ $p=0.6110$

注:表中数据为平均值±标准误,同列数据后标有相同字母表示差异不显著 (Duncan's 检验, $P>0.05$)。

The data in the table are mean±SE and those followed by same letters in the same column indicate no significant difference by Duncan's multiple range test ($P>0.05$).

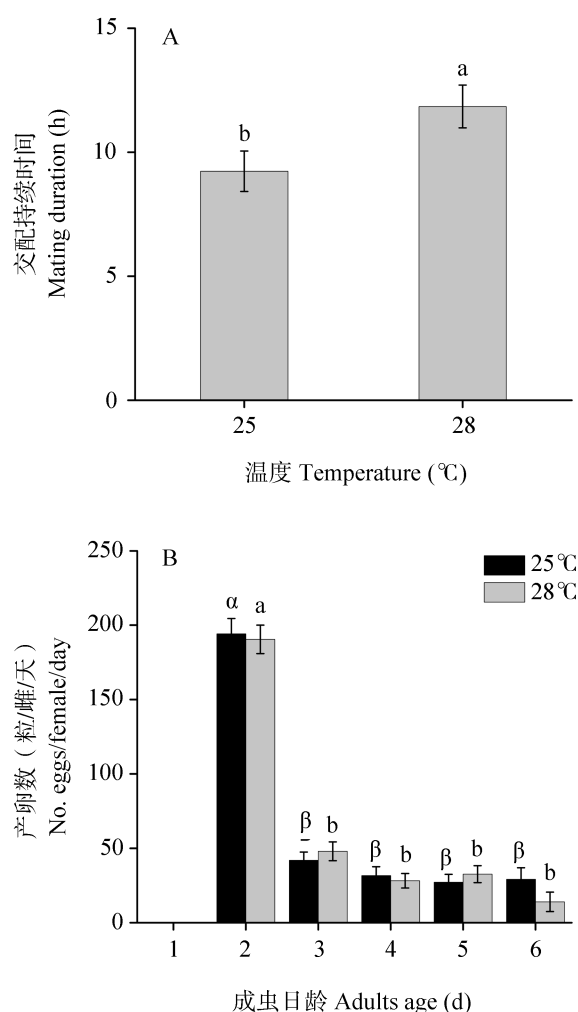


图2 不同温度下柳毒蛾成虫的交配持续时间(A)和单雌逐日产卵量(B)

Fig. 2 The duration of mating (A) and daily fecundity (B) in the gypsy moth *Leucomaa salicis* at different temperatures

图中数据为平均值±标准误,数据标有相同字母表示差异不显著($P>0.05$, Duncan's 多重比较)。下同。

The data in the graph are mean±SE. Histograms with same letters indicate no significant difference by Duncan's multiple test ($P>0.05$). The same below.

2.3 交配持续时间对柳毒蛾寿命的影响

交配持续时间对柳毒蛾雌雄成虫的寿命有显著的影响(雌性: $F = 7.070$; $df = 4, 99$; $P = 0.0000 < 0.05$; 雄性: $F = 3.589$; $df = 4, 116$; $P = 0.0090 < 0.05$)。作者试验人为设置的交配处理时间为 30 min 到 300 min, 比自由交配的平均 9.2 h 要短。除了雌成虫交配持续时间 180 min 的处理

与对照无显著差异外, 30, 60 和 300 min 的处理, 雌成虫平均寿命显著长于对照(图 3: A)。不同交配持续时间对雄成虫寿命的影响, 仅 60 min 的处理显著长于对照和其它处理(图 3: B)。

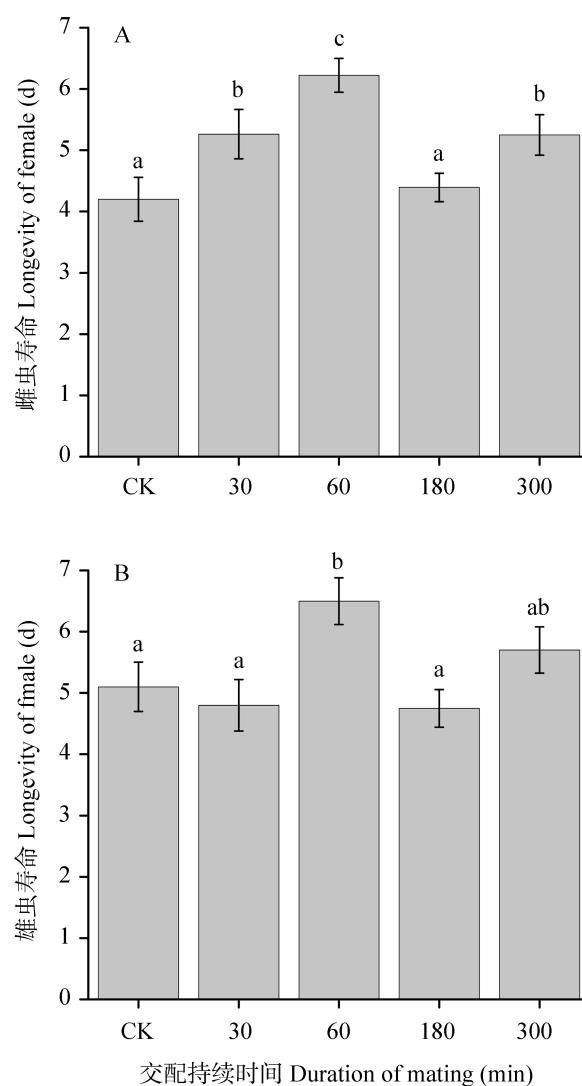


图3 交配持续时间对柳毒蛾雌虫(A)和雄虫(B)寿命的影响

Fig. 3 Effect of duration of mating on the longevity of female (A) and male (B) in the gypsy moth *Leucomaa salicis*

2.4 交配持续时间对柳毒蛾产卵量和卵孵化率的影响

极短的交配持续时间显著影响柳毒蛾雌成虫的产卵量。图 4 显示交配 30 min 即被打断的处

理,总产卵量显著低对照和其它处理($F = 3.809$; $df = 4,96$; $P = 0.0060 < 0.05$)。当交配时间达到 60 min 或以上时,雌虫的总产卵量与对照无显著性差异,表明 60 min 的交配时间可以满足雌虫受精需要。选取不同交配持续时间的雌性成虫在第一天所产卵的孵化率。统计分析表明:交配持续时间对柳毒蛾孵化率没有显著影响($F = 0.4854$; $df = 4,48$; $P = 0.498 > 0.05$)。交配持续时间为 30 min 时孵化率是 45%,显著低于自由交配的对照组(图 5:A)。进一步收集交配持续时间为 300 min 处理在产卵期内连续前 3 d 产的卵,统计不同日龄雌成虫产卵的孵化率。统计分析表明不同日龄雌成虫产卵的孵化率有显著差异,随着日龄的推迟,卵的孵化率明显下降,且显著低于对照($F = 4.947$; $df = 2,27$; $P = 0.015 < 0.05$)(图 5:B)。

3 讨 论

研究表明,很多种类昆虫的交配受昼夜节律的调控。不同种类的昆虫,其昼夜节律有明显的差异。主要包括交配活动主要在白昼的种类,如六斑月瓢虫 *Cheilomenes sexmaculatala* (Omkar and Singh, 2007) 和交配活动主要在夜晚暗期的

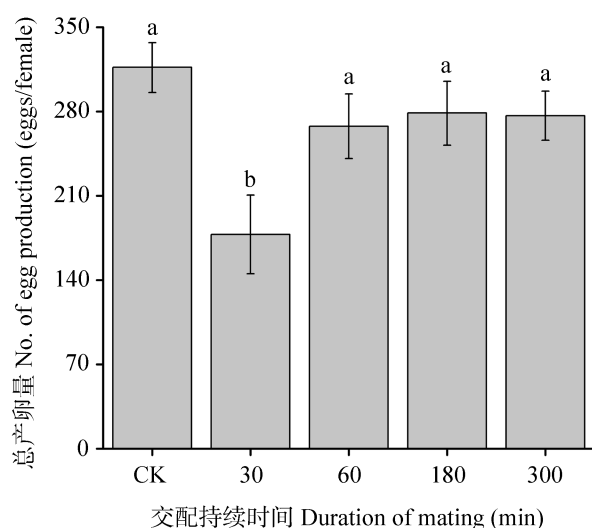


图 4 交配持续时间对柳毒蛾雌虫产卵量的影响
Fig. 4 Effect of duration of mating on fecundity in the gypsy moth *Leucomaa salicis*

种类,如枣粘虫 *Ancylis sativa* (韩桂彪等, 2000)。还有一些种类在整个 24 h 的昼夜节律中均可交配,如大猿叶虫 *Colaphellus bowringi* 在白

天和黑夜均可交配,但白昼的交配率明显高于黑夜 (Liu *et al.*, 2010)。对柳毒蛾的观察发现,柳毒蛾成虫大多在羽化当晚的翌日凌晨 3:00—5:00 之间交配,次日凌晨 4:00 为交配高峰。这与章士美 (1990) 观察该虫晚上以凌晨 3:00—5:00 之间扑灯最盛的生物学相吻合。

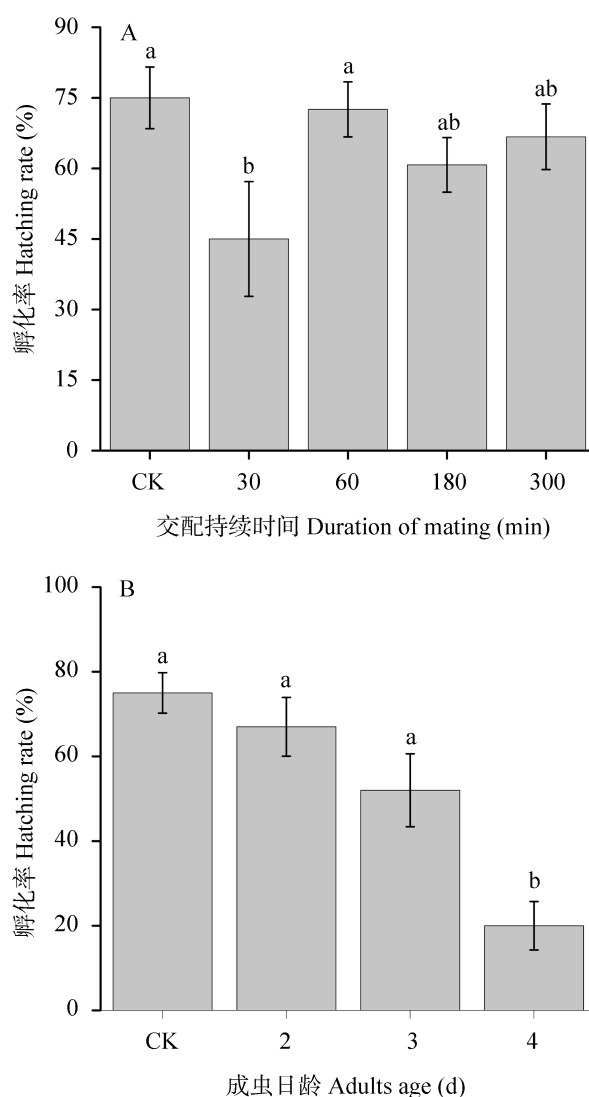


图 5 柳毒蛾成虫交配持续时间(A)和成虫日龄(B)对卵孵化率的影响

Fig. 5 Effect of duration of mating (A) and adults age (B) on eggs hatching in the gypsy moth *Leucomaa salicis*
温度会明显影响昆虫的繁殖生物学。昆虫的成虫在较低温度虽然能够存活,寿命也较长,但其性腺不能充分发育成熟,不能交尾产卵或产卵很少;在相对高点的温度条件下,成虫性成熟快

些,产卵前期短,繁殖力变大(章士美和薛芳森, 1986)。我们的初步观察选择了两个比较适宜的温度(25℃和28℃),实验结果表明雌雄成虫寿命、单雌总产卵量在两个温度处理之间均没有显著差异($P>0.05$)。但随着温度的升高,雌雄虫寿命都有所缩短。这种现象可能与较低温使寿命延长但生殖受到抑制有关(许永玉等, 2002)。事实上,南昌第2代柳毒蛾6月下旬开始化蛹,7月上中旬见成虫,南昌7月中旬田间的平均温度远远超过28℃。

一般来说,交配持续时间和温度是负相关的,这种现象在捕食性花蝽 *Anthocoris tomentosus*、*A. whitei* 和 *A. nemoralis* (Horton *et al.*, 2002),以及绿豆象 *C. chinensis* (Katsuki and Miyatake, 2009)中有报道。我们的实验表明:柳毒蛾在28℃的平均交配持续时间比25℃长了2 h,温度和交配持续时间是正相关的。这种现象可能原因是:交配持续时间和温度是负相关的这一理论,其隐含的前提条件是一生能进行多次交配的昆虫种类。对于柳毒蛾这种一生只能交配一次的昆虫这种理论并不适用。随着温度升高交配持续时间变短时,雄虫输出的精液及其附腺物质会变少,但能多次交配的昆虫能够增加交配频率来弥补这一缺陷(Katsuki and Miyatake, 2009)。而柳毒蛾这种只能交配一次的昆虫,通过延长交配持续时间来实现高温下雌虫繁殖力比低温更强的结果。

昆虫的交配持续时间对其产卵量有显著影响。如瓜实蝇 *Dacus cucurbitae* (Tsubaki and Sokei, 1988), 四纹豆象 *Callosobruchus maculatus* (Edvardsson and Canal, 2006), 六斑月瓢虫 *C. sexmaculata* 和黄斑盘瓢虫 *Coelophora saucia* (Omkar *et al.*, 2006)等昆虫的观察表明,交配持续时间和产卵量是正相关的。交配持续时间更长的雌虫比持续时间更短的雌虫能够产下更多的卵,这一结果表明雌虫从雄虫的精液中获得了大量的营养物质或获得了能刺激产卵的物质,从而提高了产卵量和雌虫的适应性(Edvardsson and Canal, 2006)。我们的观察结果表明:极短的交配持续时间会显著影响柳毒蛾雌成虫的产卵量,若交配仅持续30 min即被打断,其总产卵量显著低对照和其它处理,当交配持续60 min或以上时,雌虫的总产卵量与对照无显著性差异,表明60 min的交配时间可以满足雌虫受精需要。在

六斑月瓢虫 *C. sexmaculata* 和黄斑盘瓢虫 *C. saucia* 的观察发现,交配持续时间和子卵的孵化率通常亦是呈正相关的(Omkar *et al.*, 2006)。本实验结果显示,极短的交配持续时间不仅导致产卵量的降低,而且子代的孵化率亦有明显下降(图5:A)。不同日龄成虫产的卵的孵化率也有差异,随着成虫日龄的增加产的卵的孵化率逐步下降。这可能是柳毒蛾成虫羽化后即交配产卵,不需要进行成虫期补充营养的生物学特性导致的。

参考文献 (References)

- Edvardsson M, Canal D, 2006. The effects of copulation duration in the bruchid beetle *Callosobruchus maculatus*. *Behavior Ecology*, 17: 430–434.
- Guarneri AA, Lazzari C, Xavier AAP, Diotaiuti L, Lorenzo MG, 2003. The effect of temperature on behaviour and development of *Triatoma brasiliensis*. *Physiological Entomology*, 28: 185–191.
- Horton DR, Lewis TM, Hinojosa T, 2002. Copulation duration in three species of anthocoris (Heteroptera: Anthocoridae) at different temperatures and effects on insemination and ovarian development. *Pan-Pacific Entomologist*, 78: 43–55.
- Honek A, Jarosik V, Mrtinkova Z, 2003. Effect of temperature on development and reproduction in *Gastrophysa viridula* (Coleoptera: Chrysomelidae). *European Journal of Entomology*, 100: 295–300.
- Harano T, Miyatake T, 2005. Heritable variation in polyandry in *Callosobruchus chinensis*. *Animal Behavior*, 70: 299–304.
- Horton DR, Lewis TM, Hinojosa T, 2002. Copulation duration in three species of *Anthocoris* (Heteroptera: Anthocoridae) at different temperatures and effects on insemination and ovarian development. *Pan-Pacific Entomologist*, 78: 43–55.
- Katsuki M, Miyatake T, 2009. Effects of temperature on mating duration, sperm transfer and remating frequency in *Callosobruchus chinensis*. *Journal of Insect Physiology*, 55(2): 113–116.
- Liu XP, He HM, Kuang XJ, Xue FS, 2010. Mating behavior of the cabbage beetle, *Colaphellus bowringi* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Insect Science*, 17(1): 61–66.
- Omkar, Singh K, 2007. Rhythmicity in life events of an aphidophagous ladybird beetle, *Cheilomenes sexmaculata*. *Journal of Applied Entomology*, 131: 85–89.
- Omkar, Singh K, Pervez A, 2006. Influence of mating duration on

- fecundity and fertility in two aphidophagous ladybirds. *Journal of Applied Entomology*, 130(2): 103–107.
- Taylor LR, 1963. Analysis of the effect of temperature on insects in flight. *The Journal of Animal Ecology*, 32: 99–117.
- Tsubaki Y, Sokei Y, 1988. Prolonged mating in the melon fly, *Dacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae): competition for fertilization by sperm-loading. *USA Researches on Population Ecology*, 30: 343–352.
- Willmer P, 1991. Thermal biology and mate acquisition in ectotherms. *Trends in Ecology & Evolution*, 6: 396–399.
- 韩桂彪, 杜家伟, 李捷, 2000. 枣粘虫交配行为生态学研究. 应用生态学报, 11(1): 99–102. [HAN GB, DU JW, LI J, 2000. Mating behavioral ecology of *Ancylis sativa* adult. Chinese Journal of Applied Ecology, 11(1): 99–102.]
- 康海珍, 2013. 淦源县柳毒蛾的发生与防治. 现代农业科技, 16: 126. [KANG HZ, 2013. The Occurrence and control of *Ancylis sativa* in Huangyuan county. Modern Agricultural Science and Technology, 16: 126.]
- 王竑晟, 徐洪富, 崔峰, 许永玉, 周真, 2004. 温度对甜菜夜蛾生殖行为及生殖力的影响. 生态学报, 24(1): 162–166. [WANG HS, XU HF, CUI F, XU YY, ZHOU Z, 2004. Effect of temperature on mating behavior and fecundity of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). ACTA Ecologica Sinica, 24(1): 162–166.]
- 许永玉, 牟吉元, 胡莘, 席敦芹, 2002. 光周期和温度对中华通草蛉成虫生殖的影响. 华东昆虫学报, 11(1): 39–43. [XU YY, MU JY, HU C, XI DQ, 2002. Effect of photoperiod and temperature on adult fecundity of *Chrysoperla sinica* (Tjeder) Entomological Journal of East China, 11(1): 39–43.]
- 章士美, 1990. 江西农林昆虫生物学. 江西农业大学学报(江西农林昆虫生物学专辑), 166. [ZHANG SM. 1990. Biology of Forestry and Agricultural insect in Jiangxi Province. ACTA Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, Biology of forestry and agricultural entomology album, 166.]
- 周先林, 马鲁军, 崔敬峰, 张新民, 2009. 杨雪毒蛾生物学特性及其防治研究概述. 中国植保导刊, 29(1): 27–29. [ZHOU XL, MA LJ, CUI JF, ZHANG XM, 2009. Studies on biological characteristics and control of *Stilpnotia candida* Staudinger, a review. China Plant Protection, 29(1): 27–29.]
- 章士美, 薛芳森, 1986. 昆虫的产卵量. 江西农业大学学报(农业昆虫学系统生物学专辑): 14–19. [ZHANG SM, XUE FS, 1986. The egg-production of insects. ACTA Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, Systematic biology of agricultural entomology album, 14–19.]