

温度和光周期对条纹小斑蛾滞育解除的影响*

刘 伟^{1**} 宋水林¹ 葛洪滨² 薛芳森¹ 何海敏^{1***}

(1. 江西农业大学昆虫研究所, 南昌 330045; 2. 南昌市农业科学院, 南昌 330038)

摘 要 【目的】 探明滞育诱导期与滞育期间的温度与光周期对条纹小斑蛾 *Thyrassia penangae* 滞育解除的影响。【方法】 将不同温度配合不同光周期诱导的滞育茧转到不同条件下解除滞育, 测试了其滞育诱导期与滞育期间的温度与光周期对滞育持续时间的影响。【结果】 在 22、25 和 28 °C 下, 光周期 11L : 13D、12L : 12D 和 13L : 11D 诱导的滞育茧滞育持续时间无显著差异 ($P = 0.604$)。滞育茧在 22、25 和 28 °C, 光周期 15L : 9D 条件下解除滞育, 滞育持续时间随温度升高显著缩短 ($P < 0.001$), 22 °C 下的滞育持续时间为 (135.23±2.22) d, 28 °C 下降为 (101.55±4.15) d。随着 5 °C 低温处理时间延长, 滞育茧羽化持续时间逐渐缩短, 低温处理 0 d 的滞育茧羽化持续时间为 117 d, 低温处理 30、60 和 90 d 的滞育茧, 其羽化持续时间分别为 96、75 和 47 d。【结论】 滞育诱导的光周期对条纹小斑蛾滞育解除差异不显著, 滞育期间的温度与光周期对其滞育解除差异显著。研究结果为昆虫滞育解除机制提供了重要的参考信息。
关键词 条纹小斑蛾; 光周期; 温度; 滞育解除

The effects of photoperiod and temperature on diapause termination in *Thyrassia penangae* (Lepidoptera: Zygaenidae)

LIU Wei^{1**} SONG Shui-Lin¹ GE Hong-Bin² XUE Fang-Sen¹ HE Hai-Min^{1***}

(1. Institute of Entomology, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China;

2. Nanchang Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330038, China)

Abstract [Aim] To investigate the effects of photoperiod and temperature on diapause induction and termination in *Thyrassia penangae*. [Methods] Diapausing cocoons were randomly assigned to different temperature and photoperiod treatments after which their diapause and eclosion durations were measured and compared. [Results] Exposure to photoperiods of 11L : 13D, 12L : 12D and 13L : 11D at 22, 25 and 28 °C did not significantly affect diapause duration ($P = 0.604$). However, when diapausing cocoons were placed under 12L : 12D at 25 °C, or 15L : 9D at 22, 25 and 28 °C, the duration of diapause significantly shortened with increasing temperature, from (135.23 ± 2.22) d at 22 °C to (101.55 ± 4.15) d at 28 °C ($P < 0.001$). The eclosion duration of diapausing cocoons tended to shorten at 5 °C. The eclosion duration of diapausing cocoons at normal ambient temperatures was 117 days, whereas that of cocoons exposed to low temperatures for 30, 60 and 90 d was 96, 75 and 47 d, respectively. [Conclusion] Photoperiod and temperature significantly affected the duration of diapause and eclosion in *T. penangae*. These results further understanding of the insect diapause-termination mechanism.

Key words *Thyrassia penangae*; photoperiod; temperature; diapause termination

昆虫的滞育是其内在遗传与外界环境协同调控下, 所表现出的一种生长发育或繁殖中止的生理现象, 其特征是滞育昆虫代谢率极端低, 几

乎没有形态上的变化, 表现出极强的抗逆性, 使昆虫能够应对不利的季节, 并使昆虫的发育阶段与其寄主植物的生长发育阶段同步 (Tauber *et al.*,

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (31560608, 32360270)

**第一作者 First author, E-mail: liuweidaisy@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hehaimin1984@163.com

收稿日期 Received: 2025-12-10; 接受日期 Accepted: 2026-02-10

1986; Danks, 1987; Saunders, 2002)。滞育昆虫从进入滞育到发生形态的变化通常包括滞育启动 (Initiation)、维持和解除 (Maintenance and termination)、滞育后静止 (Post-diapause quiescence) 和滞育后发育 (Post-diapause development) 等阶段 (Košťál, 2006)。现有研究表明, 光周期和温度以及两者之间的相互作用是影响滞育解除的主要因素 (Tauber *et al.*, 1986; Danks, 1987; Košťál, 2006)。滞育解除 (Diapause termination) 通常用滞育持续时间 (Diapause duration) 来衡量。滞育持续时间即昆虫启动滞育到解除滞育、恢复发育所经历的时间。对昆虫来讲, 适时进入滞育和解除滞育对其生存是至关重要的, 过早和过迟进入和解除滞育, 均会带来种群巨大损失, 降低种群的繁衍。因此, 滞育特性的详尽了解有助于发展有害昆虫的管理策略, 促进有益昆虫的利用 (Denlinger, 2008, 2022)。

条纹小斑蛾 *Thyrassia penangae* 属鳞翅目 Lepidoptera 斑蛾科 Zygaenidae, 主要在乌荵莓 *Japanese camellia* 上为害, 在江西省南昌市年发生世代数为 4-5 代, 以老熟幼虫作茧越冬 (李仁烈, 1988; 何海敏等, 2009)。成虫羽化时间主要受温度的影响, 而光周期是影响其交配行为的主要因素 (何海敏等, 2015)。条纹小斑蛾的生物学特性和滞育诱导已有报道 (李仁烈, 1988; He *et al.*, 2009; 何海敏等, 2009), 该虫为典型的长日照型昆虫, 其滞育由短光照诱导, 长光照解除滞育, 光期长度在决定滞育发生与否起了关键作用 (He *et al.*, 2009)。但关于该虫的滞育解除仍未见详细的报道。因此, 本研究系统观察了光周期和温度对条纹小斑蛾滞育解除的影响, 为进一步开展滞育解除机制研究提供了基础资料。

1 材料与方法

1.1 供试虫源和饲养方法

用于试验的条纹小斑蛾于 2024 年 5 月底从江西农业大学校园 (28°46'N, 116°50'E) 周边的乌荵莓上采集, 采集的大龄幼虫于养虫室内饲养至作茧。成虫羽化后置于纱网养虫笼中自由配对, 已配对的成虫转至圆柱形塑料杯 (直径 4 cm,

高 10 cm) 中产卵, 每个塑料杯里仅放 1 对成虫, 每天收集卵粒。初孵幼虫置于方形的透明塑料盒 (12 cm×8 cm×6.5 cm) 中, 每盒接虫数不少于 50 头, 每个处理设 3 个重复组, 置于不同光周期和温度下, 用新鲜的乌荵莓叶片、花序、果实饲养至结茧供试验备用。

1.2 滞育诱导光周期和温度对滞育解除的影响

将条纹小斑蛾初孵幼虫置于短光周期 11L : 13D (11 h 光 : 13 h 暗)、12L : 12D、13L : 11D 与 22、25 和 28 °C 条件的光照培养箱 (LRH-250-G 型, 韶关市泰宏医疗器械有限公司) 中, 用新鲜的乌荵莓叶片、花序、果实分别饲养 16、12 和 11 d 左右至作茧, 作茧后 15 d 内仍能没有羽化的个体确定为滞育个体, 滞育率 80% 以上 (He *et al.*, 2009; 何海敏等, 2009)。然后将这些滞育茧置于长光周期 15L : 9D 及各自的温度下解除滞育。滞育茧开始羽化时每天统计羽化数量, 直至全部正常的茧羽化完成, 仅统计正常羽化的个体, 不包括未羽化, 已经死亡的个体。每个处理设 3 个重复组, 短光周期 11L : 13D、12L : 12D、13L : 11D 与 22 °C 条件下的滞育茧数分别为 75、44 和 51 粒, 未羽化并且死亡的个体数分别为 6、10 和 8 粒; 短光周期 11L : 13D、12L : 12D、13L : 11D 与 25 °C 条件下的滞育茧数分别为 85、52 和 91 粒, 未羽化并且死亡的个体数分别为 6、7 和 11 粒; 短光周期 11L : 13D、12L : 12D、13L : 11D 与 28 °C 条件下的滞育茧数分别为 30、42 和 33 粒, 未羽化并且死亡的个体数分别为 11、15 和 22 粒。

1.3 滞育期间温度对滞育解除的影响

将条纹小斑蛾初孵幼虫置于短光周期 12L : 12D 与 25 °C 条件下饲养 12 d 左右至作茧, 作茧后 15 d 内仍然没有羽化的个体确定为滞育个体。将这些滞育茧置于长光周期 15L : 9D 与 22、25 和 28 °C 下解除滞育。滞育茧开始羽化时每天记载羽化数, 直至所有正常的茧羽化完成, 仅统计正常羽化的个体, 不包括未羽化, 已经死亡的个体。每个处理设 3 个重复组, 置于长光周期 15L : 9D 与 22、25 和 28 °C 下解除滞育的滞

育茧数分别为 112、62 和 75 粒，未羽化并且死亡的个体数分别为 19、18 和 15 粒。

1.4 滞育期间低温处理对滞育解除的影响

将条纹小斑蛾初孵幼虫置于短光周期 12L : 12D 与 25 °C 条件下饲养 12 d 左右至作茧，作茧后 15 d 内仍然没有羽化的个体确定为滞育个体。将这些滞育茧置于黑暗的 5 °C 冰箱处理 0、30、60 和 90 d 后，转至光周期 15L : 9D 与 25 °C 温度下进行滞育解除。滞育茧开始羽化时每天记载羽化数，直至所有正常的茧羽化完成，仅统计正常羽化的个体，不包括未羽化，已经死亡的个体。每个处理设 3 个重复组，处理 0、30、60 和 90 d 的滞育茧数分别为 52、123、102 和 125 粒，未羽化并且死亡的个体数分别为 7、14、11 和 12 粒。

1.5 数据分析

实验数据采用 SPSS 23.0 (IBM, www.ibm.com) 进行分析。运用一般线性模型分析滞育诱导光周期和温度对滞育持续时间的影响。滞育期间的温度对滞育持续时间的影响和低温处理不同天数其滞育持续时间的差异比较，采用 One-way ANOVA 和 Duncan 氏多重比较检验。

2 结果与分析

2.1 滞育诱导光周期和温度对滞育解除的影响

将在短光周期 (11L : 13D、12L : 12D、13L : 11D) 与不同温度 (22、25、28 °C) 组合下诱导的滞育茧置于长光周期 15L : 9D 和各自的温度下解除滞育 (图 1)。滞育诱导的光周期

对条纹小斑蛾滞育解除无显著影响 ($F_{2\ 404} = 0.505, P = 0.604$)；滞育诱导的温度对条纹小斑蛾滞育解除有显著影响 ($F_{2\ 404} = 60.765, P < 0.001$)；滞育诱导的光周期和温度的互作对条纹小斑蛾滞育解除无显著影响 ($F_{4\ 402} = 0.225, P = 0.924$) (表 1)。

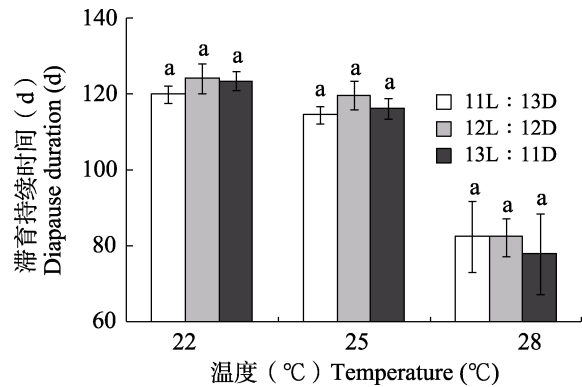


图 1 条纹小斑蛾在光周期 15 L : 9D，22、25 和 28 °C 条件下的滞育持续时间

Fig. 1 Diapause duration of *Thyraea penangae* under the photoperiod of 15L : 9D at 22, 25 and 28 °C

每个处理样本数为 11-80 头。图中数据为平均值±标准误差，柱上不同小写字母表示在同一温度下不同光周期期间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan 氏多重比较)。下同。

$N = 11-80$ for each treatment. Values are shown as mean±SE, different lowercase letters above bars indicate significant different among photoperiods at the same temperature ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test). The same below.

2.2 滞育期间温度对滞育解除的影响

滞育期间温度对条纹小斑蛾滞育解除的影响如图 2 所示。滞育持续时间随温度升高显著缩短 ($F_{2\ 194} = 31.401, P < 0.001$)，22 °C 下的滞育持续时间为 (135.23 ± 2.22) d，28 °C 下的滞育持续时间下降为 (101.55 ± 4.15) d。

表 1 固定因子 (温度和光周期) 对条纹小斑蛾滞育持续时间的一般线性模型分析
Table 1 Linear model analysis of fixed factors (temperature and photoperiod) on diapause duration in *Thyraea penangae* in relation to temperature and photoperiod

固定因子 Fixed factors		自由度 <i>df</i>	<i>F</i> 值 <i>F</i> -value	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
滞育持续时间 Diapause duration	温度 Temperature	2	60.765	< 0.001
	光周期 Photoperiod	2	0.505	0.604
	温度×光周期 Temperature × Photoperiod	4	0.225	0.924

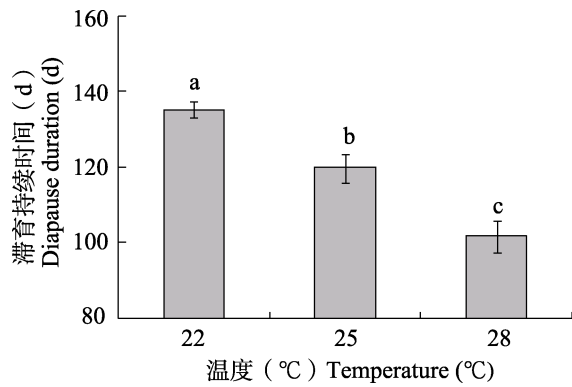


图 2 条纹小斑蛾在光周期

15L : 9D 不同温度条件下的滞育持续时间

Fig. 2 Diapause duration of different temperatures under the photoperiod of 15L : 9D in *Thyrassia penangae*

每个处理样本数为 44-93 头。

 $N = 44-93$ for each treatment.

2.3 滞育期间低温处理对滞育解除的影响

低温处理时间长短对滞育茧的滞育持续时间(50%累计羽化率)有显著影响($F_{3\ 354} = 73.759$, $P < 0.001$), 低温处理时间越长, 滞育茧的滞育持续时间越长。随着低温处理时间延长, 羽化持续时间(从开始羽化到全部羽化结束经历的时间)逐渐缩短, 低温处理 0 d 的滞育茧羽化持续时间为 117 d (图 3: A), 低温处理 30、60 和 90 d 的滞育茧, 其羽化持续时间分别为 96、75 和 47 d (图 3: B-D)。

3 讨论

目前研究报道, 滞育诱导期间和滞育期间的

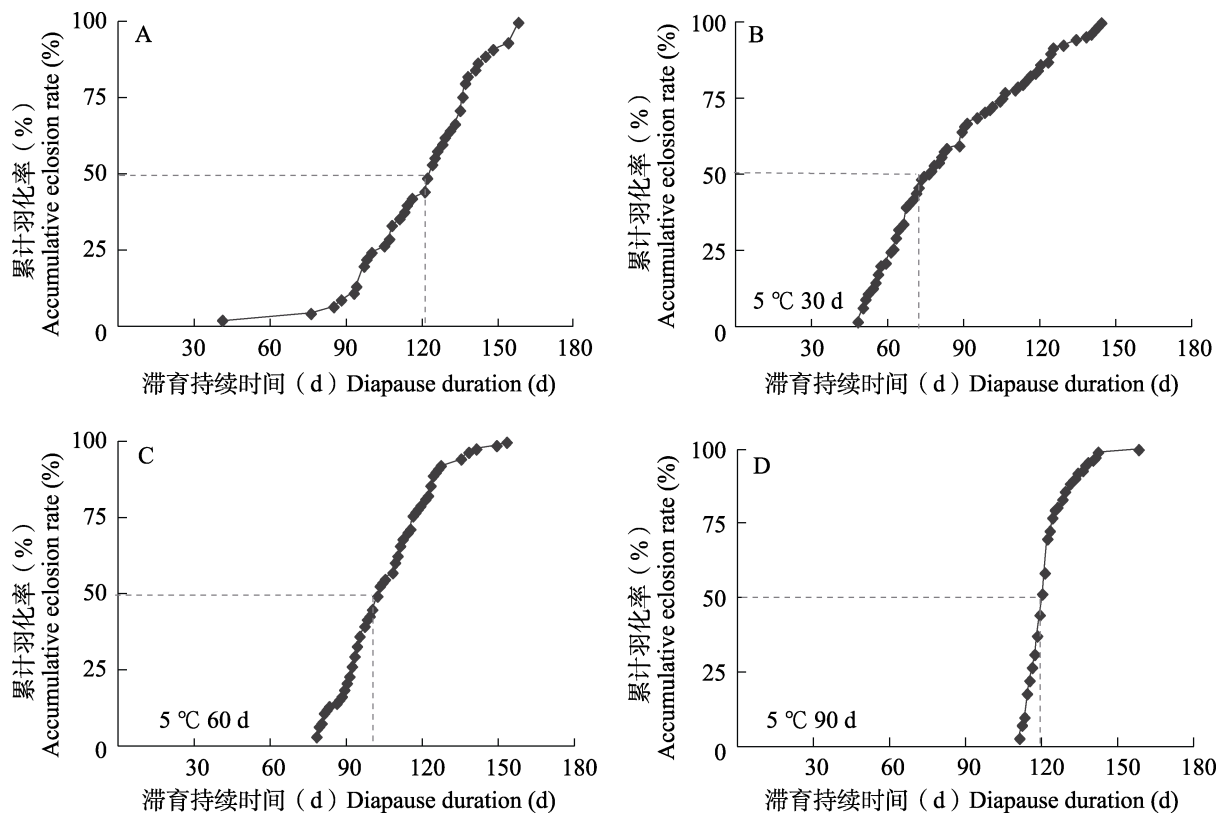


图 3 低温处理对条纹小斑蛾滞育持续时间的影响

Fig. 3 Effects of chilling treatment on diapause duration in *Thyrassia penangae*

每个处理样本数为 45-113 头。在光周期 12L : 12D 与 25 °C 下诱导的滞育茧置于全暗 5 °C 处理 0 d (A)、30 d (B)、60 d (C) 和 90 d (D) 后, 转至光周期 15L : 9D 与 25 °C 下解除滞育。

$N = 45-113$ for each treatment. Diapause cocoons induced by 12L : 12D, 25 °C were transferred to 5 °C for 0 d (A), 30 d (B), 60 d (C) and 90 d (D), and subsequently transferred to 25 °C under the photoperiod of 15L : 9D to terminate diapause.

温度和光周期是影响昆虫滞育解除的两个最重要的因素(Tauber *et al.*, 1986; Hodek, 1996; 赖锡婷等, 2008)。例如棉铃虫 *Hyphantria cunea*, 光周期 8L : 16D, 10L : 14D 和 12L : 12D 诱导的滞育, 滞育持续时间长于 13L : 11D 和 14L : 10D (Chen *et al.*, 2014)。亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*, 在 25 和 28 °C, 光周期 13L : 11D 诱导的滞育个体的滞育持续时间显著短于 11L : 13D 和 12L : 12D (何海敏等, 2018)。灰飞虱 *Laodelphax striatellus*, 光周期 12L : 12D 诱导的滞育, 滞育持续时间短于 10L : 14D 和 11L : 13D (Wang *et al.*, 2014)。但条纹小斑蛾却与之不同, 在不同温度下滞育诱导的光周期对于滞育持续时间无显著影响(表 1, 图 1)。

昆虫种类不同, 滞育完成对温度的需求不同。有些昆虫需要经历低温处理才能完成滞育或加速滞育解除(Ando, 1993; Fisher, 1997; Hodek, 2002), 但对于大部分仅有冬季滞育的多化性昆虫而言, 低温并不是滞育完成的决定性因素, 中性温度或高温更能促进滞育的完成(Hodek and Hodková, 1988; Nomura and Ishikawa, 2000; 薛芳森等, 2001; Hodek, 2002)。例如枞色卷蛾 *Choristoneura fumiferana* (Han and Baue, 1996), 捕食螨 *Euseius finlandicus* (Broufas *et al.*, 2006), 根实蝇 *Delia radicum* (Johnsen and Gutierrez, 1997), 二化螟 *Chilo suppressalis* (Xiao *et al.*, 2010), 日本平腹小蜂 *Anastatus japonicus* (赵灿等, 2023), 豆天蛾 *Clanis bilineata tsingtaica* (郭明明等, 2021)。本试验结果再次阐明了条纹小斑蛾滞育茧解除滞育无需经历冬季的低温, 并且滞育持续时间随温度升高明显缩短(图 2)。试验结果还表明, 5 °C 低温处理可以缩短羽化持续时间, 导致滞育茧集中羽化, 没有经历低温处理的滞育茧羽化持续时间为 117 d, 低温处理 30、60 和 90 d 的滞育茧, 其羽化持续时间分别为 96、75 和 47 d (图 3)。大多数昆虫与之相似, 如亚洲玉米螟没有经历 5 °C 低温处理的滞育幼虫, 其化蛹持续时间为 78 d, 低温处理 90 d 的滞育幼虫, 其化蛹持续时间缩短为 35 d, 低温处理同步了滞育个体的化蛹时间(何海敏等, 2018)。

大豆食心虫 *Leguminivora glycinivorella* 在 4 °C 处理 4 周解除滞育后的化蛹持续期为 60.69 d, 处理 44 周解除滞育后的化蛹持续期为 7 d, 随着处理时间的增加, 化蛹时期逐渐集中(任振涛等, 2023)。棉铃虫滞育可以在不暴露于低温的情况下终止, 但在 5 °C 下处理 90 和 120 d 显著加速了滞育的发展, 降低了死亡率, 并且同步了成虫的出现(Chen *et al.*, 2014)。灰飞虱适宜终止滞育的温度分别为 26 和 28 °C, 不同时间 5 °C 处理不能缩短滞育时间, 但包括处理时间在内, 滞育时间明显延长(Wang *et al.*, 2014)。

了解光周期和温度对昆虫滞育解除的影响, 对害虫的田间发生动态及预测预报具有一定的参考意义。虽然低温不是昆虫滞育解除的必要条件, 但对大多数昆虫而言, 低温可以缩短滞育持续时间, 使滞育个体解除滞育更加同步和集中。此外, 研究光周期和温度对昆虫滞育解除的影响还有助于解释昆虫是怎样或是否迅速反应到全球气候变化(Wadsworth *et al.*, 2013)。

参考文献 (References)

- Ando Y, 1993. Thermal response and reversibility of diapause in the eggs of *Locusta migratoria*. *Physiological Entomology*, 18(1): 1–6.
- Broufas G, Pappas M, Koveos D, 2006. Effect of cold exposure and photoperiod on diapause termination of the predatory mite *Euseius finlandicus* (Acari: Phytoseiidae). *Environmental Entomology*, 35(5): 1216–1221.
- Chen C, Wei XT, Xiao HJ, He HM, Xia QW, Xue FS, 2014. Diapause induction and termination in *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiinae). *PLoS ONE*, 9(5): e98145.
- Danks HV, 1987. Insect Dormancy: An Ecological Perspective. Monograph Series No. 1. Ottawa: Biological Survey of Canada. 1–439.
- Denlinger DL, 2008. Why study diapause? *Entomological Research*, 38: 1–9.
- Denlinger DL, 2022. Insect Diapause. New York: Cambridge University Press. 1–454.
- Fisher JR, 1997. Embryonic diapause in *Aulocara elliotti* and *Ageneotettix deorum* (Orthoptera: Acrididae): Low-temperature relationships. *Environmental Entomology*, 26(4): 906–911.
- Guo MM, Li XF, Deng P, Li DW, Li JL, Fan JW, Chen F, 2021.

- Diapause termination and post-diapause of overwintering *Clanis bilineata tsingtauca* larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(4): 966–972. [郭明明, 李晓峰, 邓盼, 李大维, 李俊领, 樊继伟, 陈凤, 2021. 豆天蛾越冬幼虫滞育解除后生物学特性的研究. *应用昆虫学报*, 58(4): 966–972.]
- Han EN, Bause E, 1996. Diapause development of spruce budworm larvae, *Choristoneura fumiferana* (Clem) (Lepidoptera: Tortricidae), at temperatures favouring post-diapause development. *Canadian Entomologist*, 128: 167–169.
- He HM, Chen QW, Yang HZ, Xia QW, Xue FS, 2018. Termination of diapause in the Nanchang population of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 96–103. [何海敏, 陈前武, 杨慧中, 夏勤雯, 薛芳森, 2018. 亚洲玉米螟南昌种群滞育的解除. *应用昆虫学报*, 55(1): 96–103.]
- He HM, Huang F, Yang D, Xue FS, 2009. Biological characteristics in *Thyrassia penangae*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(3): 411–414. [何海敏, 黄芳, 杨东, 薛芳森, 2009. 条纹小斑蛾的生物学特性. *昆虫知识*, 46(3): 411–414.]
- He HM, Xian ZH, Huang F, Liu XP, Xue FS, 2009. Photoperiodism of diapause induction in *Thyrassia penangae* (Lepidoptera: Zygaenidae). *Journal of Insect Physiology*, 55(11): 1003–1008.
- He HM, Xiao L, Fu S, Xiao HJ, Xue FS, 2015. Effects of photoperiod and temperature on adult eclosion and mating rhythms of *Thyrassia penangae* (Lepidoptera: Zygaenidae). *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 37(6): 1011–1015. [何海敏, 肖亮, 傅淑, 肖海军, 薛芳森, 2015. 光周期和温度对条纹小斑蛾羽化和交配节律的影响. *江西农业大学学报*, 37(6): 1011–1015.]
- Hodek I, 2002. Controversial aspects of diapause development. *European Journal of Entomology*, 99(2): 163–174.
- Hodek I, Hodková M, 1988. Multiple role of temperature during insect diapauses: A review. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 49(2): 153–165.
- Hodek T, 1996. Diapause development, diapause termination and the end of diapause. *European Journal of Entomology*, 93(3): 475–487.
- Johnsen S, Gutierrez AP, 1997. Induction and termination of winter diapause in a Californian strain of the cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae). *Environmental Entomology*, 26(1): 84–90.
- Košťál V, 2006. Eco-physiological phases of insect diapause. *Journal of Insect Physiology*, 52(2): 113–127.
- Lai XT, Xiao HJ, Xue FS, 2008. Influencing factors of diapause duration in insects and its influence on post diapause biology. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(2): 182–188. [赖锡婷, 肖海军, 薛芳森, 2008. 昆虫滞育持续时间的影响因子及其对滞育后生物学的影响. *昆虫知识*, 45(2): 182–188.]
- Li RL, 1988. Preliminary study of *Artona zebraia*. *Entomological Knowledge*, 25(5): 283. [李仁烈, 1988. 条纹小斑蛾的初步研究. *昆虫知识*, 25(5): 283.]
- Nomura M, Ishikawa Y, 2000. Biphasic effect of low temperature on completion of winter diapause in the onion maggot, *Delia antiqua*. *Journal of Insect Physiology*, 46(4): 373–377.
- Ren ZT, Zhao HM, Zhou YJ, Xue K, 2023. Research on diapause termination in an overwintering population of *Leguminivora glycinivorella* (Lepidoptera: Olethreutidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(6): 1777–1784. [任振涛, 赵海盟, 周宜君, 薛堃, 2023. 大豆食心虫越冬种群解除滞育规律研究. *应用昆虫学报*, 60(6): 1777–1784.]
- Saunders DS, 2002. *Insect Clocks*. 3rd ed. Oxford: Pergamon Press. 1–560.
- Tauber MJ, Tauber CA, Masaki S, 1986. *Seasonal Adaptations of Insects*. Oxford: Oxford University Press. 111–160.
- Wadsworth CB, Woods JR WA, Hahn DA, Dopman EB, 2013. One phase of the dormancy developmental pathway is critical for the evolution of insect seasonality. *Journal of Evolutionary Biology*, 26(11): 2359–2368.
- Wang LF, Lin KJ, Chen C, Fu S, Xue FS, 2014. Diapause induction and termination in the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae). *PLoS ONE*, 9(9): e107030.
- Xiao HJ, Mou FC, Zhu XF, Xue FS, 2010. Diapause induction, maintenance and termination in the rice stem borer *Chilo suppressalis* (Walker). *Journal of Insect Physiology*, 56(11): 1558–1564.
- Xue FS, Li AQ, Zhu XF, 2001. The role of temperature during insect diapause. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 23(1): 62–67. [薛芳森, 李爱青, 朱杏芬, 2001. 温度在昆虫滞育期间的作用. *江西农业大学学报*, 23(1): 62–67.]
- Zhao C, Xia Y, Zhang BX, Li DS, 2023. Diapause termination of parasitoid wasp *Anastatus japonicus* Ashmead and its overwintering in the field in Guangzhou. *Journal of Plant Protection*, 50(5): 1130–1136. [赵灿, 夏玥, 张宝鑫, 李敦松, 2023. 日本平腹小蜂滞育解除条件及其在广州市田间的越冬情况. *植物保护学报*, 50(5): 1130–1136.]