

豆天蛾越冬幼虫滞育解除后生物学特性的研究*

郭明明^{1**} 李晓峰¹ 邓盼² 李大维³

李俊领³ 樊继伟¹ 陈凤^{1***}

(1. 连云港市农业科学院, 连云港 222000; 2. 江苏省农业科学院休闲农业研究所, 南京 210000;

3. 江苏省农垦农业发展股份有限公司云台分公司, 连云港 222063)

摘要 【目的】豆天蛾 *Clanis bilineata tsingtauca* 以老熟幼虫进入滞育越冬, 为探明豆天蛾滞育解除的机制。【方法】本研究设置 4 个不同温度梯度, 在恒湿条件下, 研究不同温度处理下豆天蛾滞育持续时间、化蛹及羽化的差异。【结果】温度对豆天蛾滞育解除存在一定影响。随着温度升高, 豆天蛾滞育持续时间和蛹期逐渐缩短, 在 35 °C 条件下滞育持续时间和蛹期最短, 分别为 (34.4±0.3) d 和 (6.7±1.2) d; 而化蛹率、蛹重随温度的升高呈先升高后降低, 在 25 °C 时, 化蛹率最高为 (80.60±0.26) %, 在 30 °C 时, 蛹重最大为 (4.21±0.07) g/头。豆天蛾成虫羽化率随温度升高而显著降低; 25 °C 条件下, 单雌产卵量最大, 达到 (204±9) 粒。本室内条件下, 豆天蛾滞育解除的有效积温为 1 111.1 日·度。【结论】在温度为 25 °C 的条件下最有利于豆天蛾滞育解除后的生长发育。

关键词 豆天蛾; 温度; 滞育解除; 生物学特性

Diapause termination and post-diapause of overwintering *Clanis bilineata tsingtauca* larvae

GUO Ming-Ming^{1**} LI Xiao-Feng² DENG Pan² LI Da-Wei³

LI Jun-Ling³ FAN Ji-Wei¹ CHEN Feng^{1***}

(1. Lianyungang Academy of Agricultural Sciences, Lianyungang 222000, China; 2. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences Institute of Leisure Agriculture, Nanjing 210000, China; 3. Yuntai Branch of Jiangsu

Provincial Agricultural Reclamation and Development Corporation, Lianyungang 222063, China)

Abstract [Objectives] To investigate the mechanism of diapause termination in *Clanis bilineata tsingtauca* which mainly enters diapause as mature larvae. [Methods] Larvae were kept under four different temperature gradients under constant humidity and differences in diapause duration, pupation and emergence between these temperature treatment groups was compared. [Results] The duration of diapause and the pupal stage gradually shortened as temperature increased, reaching minimum values of (34.4±0.3) d and (6.7±1.2) d, respectively at 35 °C. The pupation rate and pupal weight first increased, then decreased, with increasing temperature. The maximum pupation rate was (80.60±0.26) % at 25 °C and the maximum average pupal weight was (4.21±0.07) g at 30 °C. The adult emergence rate decreased significantly with increasing temperature. The oviposition rate reached a maximum of (204±9) eggs/female at 25 °C. These results show that the diapause status of *Clanis bilineata tsingtauca* could be reversed when the effective accumulated temperature reached 1 111.1 degree·days at room temperature. [Conclusion] The post-diapause growth and development of *Clanis bilineata tsingtauca* was optimal after diapause termination at a temperature of 25 °C.

Key words *Clanis bilineata tsingtauca*; temperature; diapause termination; biological characteristics

*资助项目 Supported projects: 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(20)3117]; 连云港市财政局专项资金项目 (QNJJ1903)

**第一作者 First author, E-mail: gmm30277@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: tulips1973@126.com

收稿日期 Received: 2020-09-29; 接受日期 Accepted: 2021-02-22

豆天蛾 *Clanis bilineata tsingtauca* 属鳞翅目 Lepidoptera 天蛾科 Sphingidae 云纹天蛾亚科 Ambulicinae 豆天蛾属 *Clanas* (朱弘复等, 1997; 席景会等, 2000), 是一种重要的资源昆虫 (宋开霞, 2006), 其幼虫体内含有丰富的蛋白质、氨基酸、脂肪和亚麻酸等营养物质 (闫茂华等, 2008), 同时有一定的医药价值 (田华和张义明, 2012; 刘雪薇等, 2014)。豆天蛾为豆田害虫之一, 主要分布于我国黄淮流域和长江流域及华南地区 (田华和张义明, 2009)。江苏的种群每年会发生 1 代。一般在 6 月中旬化蛹, 7 月上旬为羽化盛期, 7 月中下旬至 8 月上旬为成虫产卵盛期 (宋开霞, 2006), 幼虫历期为 32 d 左右。9 月上旬, 老熟幼虫陆续入土越冬。翌年 4-5 月份, 豆天蛾幼虫做虫室化蛹, 随后羽化为成虫 (夏振强和吴胜军, 2012)。成虫飞翔能力较强, 能够在几十米的高空急飞。

滞育是指昆虫在不良环境到来之前, 已经进入停育状态, 即使不良环境条件消除后昆虫也不能马上能恢复生长发育的生命活动停滞现象, 昆虫为度过不良环境条件而形成的生理和行为机制 (Danks, 1987)。滞育对维持昆虫种群和个体生存、保持群体发育统一及保证种繁衍等具有重要意义 (徐卫华, 2008)。豆天蛾以老熟幼虫进行越冬滞育, 其滞育场所为土壤 (刘志红等, 2005), 这一类的鳞翅目昆虫进入土壤并分泌丝状物和粘液将土粒粘在一起做成一定形状的蛹室化蛹, 化蛹后头部朝向羽化孔, 整个蛹道的形状呈“U”字型 (郑霞林等, 2010)。由于豆天蛾普遍存在滞育现象, 且滞育时间较长, 生产中豆天蛾幼虫只有春夏两季可以饲养, 远远不能满足市场需求。

昆虫的滞育现象主要受光周期、温湿度、食物等生态因素的影响 (陈元生等, 2012)。滞育过程主要包括滞育的诱导、维持、解除和滞育后发育等生理阶段, 这些阶段强烈受到外界环境条件的影响 (Tauber *et al.*, 1986)。滞育解除快慢通常用滞育持续时间来衡量 (卓德干等, 2011)。以老熟幼虫滞育的昆虫, 其滞育持续时间是指老熟幼虫进入滞育后到化蛹出现需求的时间

(Beck, 1989)。温度是影响昆虫滞育的主要因素之一 (于毅和严毓骅, 1998)。高温常常促进冬滞育昆虫解除滞育, 缩短滞育持续时间 (卓德干等, 2011)。研究表明高温 (30 °C) 下毛健夜蛾 *Brithys crini* Fabricius 滞育持续时间要长于 25 °C 的, 在 25 °C 条件最有利于毛健夜蛾滞育解除 (涂小云等, 2013)。关于不同环境条件对昆虫滞育影响的研究较多 (杜俊岭和赵晓丽, 1993; Nakamura and Numata, 2000; 黄少虹, 2009; Xiao *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2013; 于洪春等, 2018), 例如棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner、豆蝼 *Riptortus clavatus*、二化螟 *Chilo suppressalis* Walker、玉米螟 *Ostrinia furnacalis*、大豆食心虫 *Leguminivora glycinivorella* Matsumura、草地螟 *Loxostege sticticalis* L. 等。目前, 关于豆天蛾滞育解除的相关报道和研究较少。基于以上研究背景, 笔者对不同环境温度下豆天蛾滞育解除影响进行研究, 为明确豆天蛾滞育解除后其生活史及生物学特性提供理论依据, 以实现豆天蛾幼虫周年饲养。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

试验种群豆天蛾采自江苏连云港 (34.15°N, 119.09°E), 2019 年 10 月 2 日引自连云港市农业科学院东辛试验基地的同一批有入土行为、大小一致的豆天蛾老熟幼虫。

待豆天蛾老熟幼虫入土做虫室且保持不动时, 即被诱导进入滞育状态。于 2019 年 11 月 4 日将诱导滞育的幼虫置于实验室条件, 并转入带有基质 (黏土和木屑, 比例为 3 : 1) 的圆形透明塑料盒 (直径 10 cm, 高 18 cm) 中, 每个圆形塑料盒中放 2 头幼虫, 每个处理 50 盒。其中基质厚度为 15 cm, 且基质均通过高压灭菌。将滞育的幼虫置于不同温度处理的光照培养箱 (LRH-250-G 型) 中培养, 备用。

1.2 方法

将自然条件下刚进入滞育状态 (幼虫停止取

食)且生长发育一致的豆天蛾老熟幼虫置于光周期为 10L:14D(模拟自然条件的光周期)、湿度为 70%±5%的光照培养箱中,设置温度为 20、25、30 和 35 °C 4 个处理,每个处理 100 头幼虫,待豆天蛾滞育幼虫开始活动,并移动到基质表层视为解除滞育状态。实验过程中,观察不同处理下豆天蛾滞育解除情况,并记录不同处理下豆天蛾滞育持续时间、蛹期、化蛹率、蛹重、羽化率指标。将各处理下幼虫滞育持续时间(D)换算成发育速率($R=1/D$)。依据有效积温法则,采用直线回归法(Honěk, 1996; Bartekova and Praslicka, 2006),计算温度(T)与发育速率(R)的线性回归方程: $R=a+bT$ (a , b 均为线性回归参数),计算各处理豆天蛾滞育解除有效积温(SET): $SET=1/b$ 。

1.3 数据分析

相关数据以平均数±标准误表示,采用 SPSS 18.0 软件进行统计分析。不同温度条件下豆天蛾滞育持续时间、蛹期、化蛹率、蛹重、羽化率差异显著性采用 One-way ANOVA 和 Tukey's HSD test 进行比较。

2 结果与分析

2.1 不同温度对豆天蛾滞育持续时间的影响

不同温度处理间,豆天蛾滞育持续时间存在显著差异($F=158.048$, $df=3$, $P=0.000$)(图 1)。随着温度升高,滞育持续时间逐渐缩短,在 35 °C 条件下降到最低,与豆天蛾蛹期规律基本一致。结合表 3 结果分析,各温度处理间,豆天蛾滞育持续时间的差异均达到显著水平($P<0.05$)。在 35 °C 下,滞育持续时间仅为(34.4±0.3) d。

2.2 不同温度对豆天蛾蛹期的影响

由图 2 可以看出,不同温度条件下,豆天蛾蛹期不同。随着温度不断升高,豆天蛾蛹期不断缩短,在 35 °C 恒温条件下蛹期最短,显著短于其它温度($P<0.05$)。

不同温度对豆天蛾化蛹率、蛹重及蛹长均有一定影响(表 1)。化蛹率、蛹重和蛹长随温度

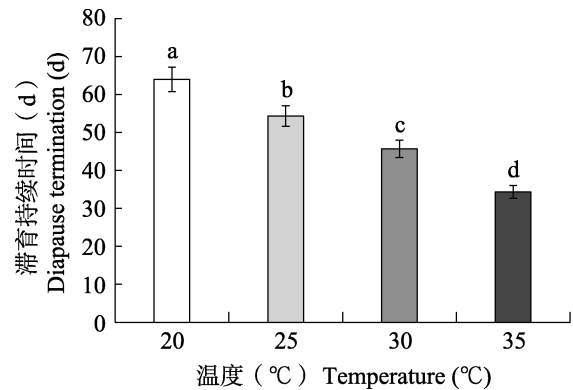


图 1 不同温度对豆天蛾滞育持续时间的影响

Fig. 1 Effects of different temperature on diapause duration of *Clanis bilineata tsingtauca*

图中柱上标有不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著。图 2 同。

Histograms with different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level under different treatments. The same as Fig. 2.

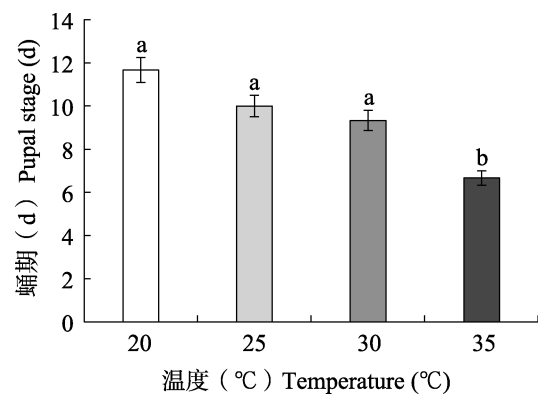


图 2 不同温度对豆天蛾蛹期的影响

Fig. 2 Effects of different temperature on pupal stage after pupation of *Clanis bilineata tsingtauca*

的升高均呈先升高后降低的趋势,化蛹率在 25 °C 条件下最高,达到(80.60±0.26)%,继续升高温度,化蛹率显著下降($P<0.05$),在 35 °C 时最低,化蛹率仅为(73.17±0.41)%;而蛹重和蛹长在 30 °C 条件达到最大值,且显著高于 20 °C 和 25 °C($P<0.05$);当环境温度达到 35 °C 时,豆天蛾蛹重和蛹长均显著下降($P<0.05$)。

2.3 不同温度对豆天蛾羽化的影响

不同环境温度对豆天蛾成虫羽化率存在一定影响(图 3)。随着环境温度升高,豆天蛾成虫羽化率逐渐降低,其中在 20-30 °C 范围内,羽

表 1 不同温度对豆天蛾化蛹的影响

Table 1 Effects of different temperature on pupation of <i>Clanis bilineata tsingtauca</i>				
温度 (°C) Temperature	蛹期 (d) Pupal stage	化蛹率 (%) Pupation rate	蛹重 (g/头) Pupal weight (g/ind.)	蛹长 (cm) Pupal length
20	11.6±1.2 a	79.13±0.40b	3.55±0.18c	4.50±0.26bc
25	10.0±1.0 a	80.60±0.26a	3.87±0.03b	4.63±0.21b
30	9.3±0.6 a	79.26±0.32b	4.21±0.07a	5.03±0.15a
35	6.7±1.2 b	73.17±0.41c	3.06±0.11d	4.60±0.20b

表中数据为平均值±标准误, 同一列数字后标有不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著。表 2 同。
Data are mean±SE, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same as table 2.

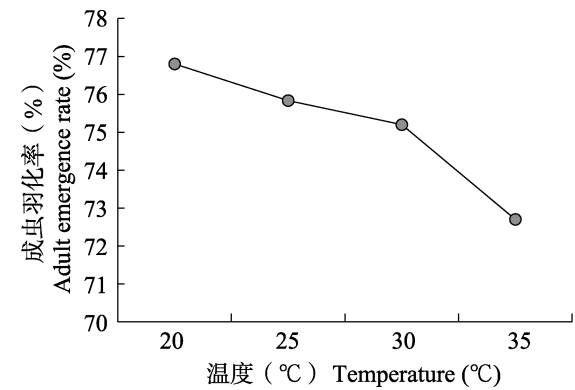


图 3 不同温度对豆天蛾成虫羽化率的影响
Fig. 3 Effects of different temperature on adult emergence rate of *Clanis bilineata tsingtauca*

化率缓慢下降, 当环境温度高于 30 °C 时, 成虫羽化率急剧下降, 下降幅度达到显著水平 ($P<0.05$)。

不同温度对豆天蛾成虫产卵量及雌雄成虫

寿命均有一定影响 (表 2)。随温度的升高, 豆天蛾雌虫产卵量和雄虫寿命均先增加后降低, 在 25 °C 下达到最大值, 不同温度处理间单雌产卵量均存在显著差异 ($P<0.05$); 雄成虫寿命在 25 °C 和 30 °C 处理间无显著性差异 ($P>0.05$); 在 35 °C 环境下, 单雌产卵量和雄成虫寿命均最小, 分别为 125 粒和 6.36 d。不同温度处理下, 豆天蛾雌成虫寿命存在差异, 在 30 °C 下寿命最长, 达到 5.4 d。

2.4 豆天蛾化蛹环境有效积温研究

由图 4 可知, 通过不同温度处理, 结合不同温度处理下豆天蛾滞育持续时间, 得出本地豆天蛾滞育解除的有效积温为 1 111.1 日·度(回归方程: $y=0.000\ 9x-0.003$, $R^2=0.947\ 8$)。即有效积温达到 1 111.1 日度时, 即可解除豆天蛾的滞育状态。

表 2 不同温度对豆天蛾成虫生物学特性的影响

Table 2 Effects of different temperature on adult biological characteristics of <i>Clanis bilineata tsingtauca</i>				
温度 (°C) Temperature	羽化率 (%) Emergence rate	单雌产卵量 (粒) Amount of females oviposition (eggs)	雌成虫寿命 (d) Longevity of overwintering female adults	雄成虫寿命 (d) Longevity of overwintering male adults
20	76.8±0.4 a	140±5 c	5.36±0.12 a	6.66±0.15 b
25	75.8±0.4 ab	204±9 a	5.13±0.06 b	7.47±0.15 a
30	75.2±0.3 b	161±5 b	5.40±0.10 a	7.27±0.12 a
35	72.7±0.6 c	125±7 c	5.27±0.06 ab	6.36±0.31 b

3 结论与讨论

自然条件下, 温度是多数昆虫打破滞育的主要因素 (卓德干等, 2011; 涂小云等, 2013; 陈

培育等, 2015; 何海敏等, 2018; 张俊杰等, 2018)。本研究首次分析了环境温度对豆天蛾滞育解除的影响。结果表明, 不同温度条件均可实现豆天蛾滞育解除, 说明豆天蛾不需要进行低温刺激即

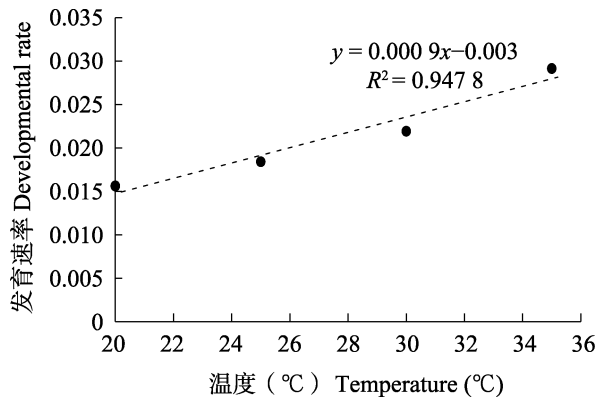


图4 豆天蛾滞育解除的有效积温

Fig. 4 Effective accumulated temperature of diapause termination *Clanis bilineata tsingtauca*

可解除滞育状态,这与 Hodek 和 Hodkov (1988) 研究结果基本一致。但是还有研究认为,冬季滞育的昆虫解除滞育状态需要通过一定的低温处理 (Denlinger, 2002)。陈培育等 (2015) 研究结果表明,4 °C 低温可以有效解除中黑盲蝽 *Adelphocoris suturalis* 卵的滞育,35 °C 高温不能解除中黑盲蝽卵的滞育。本研究在 25 °C 条件下,豆天蛾化蛹率高达 (80.60±0.26) %,当温度超过 25 °C 时,化蛹率出现下降,说明适当升高环境温度,能够缩短蛹期,提高化蛹率和蛹质量。当环境温度过高时,虽然能够缩短蛹期,但会降低化蛹率和蛹质量、成虫羽化、产卵量及寿命。因此,环境温度过高则不利于成虫发育和交尾。本文中,豆天蛾滞育持续时间随着环境温度的升高逐渐缩短,在 35 °C 下,滞育持续时间仅为 (34.4±0.3) d,二者结果不一致,这可能是由于不同昆虫的生理特性所决定。前人 (陈艳艳, 2012) 关于昆虫滞育解除有效积温多贯穿于昆虫各虫态整个发育历期,且结果不尽一致。陈艳艳 (2012) 研究认为,中华稻蝗 *Oxya chinensis* 发育有效积温因不同地理种群而有所差异。如棉铃虫日本熊本种群的有效积温与日本冈山种群的不同 (Qureshi *et al.*, 1999)。本文主要集中于豆天蛾滞育虫态解除滞育状态所需的有效积温研究,有效积温达到 1111.1 日·度即可解除豆天蛾滞育状态,进而完成化蛹、羽化及交配等生命过程。综合分析豆天蛾化蛹率、蛹质量、成虫羽化率、产卵量、滞育持续时间等指标,在环境温

度为 25 °C 下最有利于豆天蛾滞育解除后生长发育。

昆虫滞育解除的条件不尽相同。本文初步研究了不同温度对豆天蛾滞育解除的影响,未开展湿度条件下滞育解除的研究,同时本试验滞育场所为模拟自然滞育状态的土壤条件,对光周期不敏感,因此温湿度互作及光周期对豆天蛾滞育解除的影响有待于进一步研究。本研究各处理下豆天蛾蛹期较长,未进行滞育解除前低温处理,下一步拟对滞育豆天蛾进行低温处理,进而探究滞育解除前低温处理对豆天蛾滞育解除的影响,同时增加光周期和湿度处理,分析不同饲养条件下豆天蛾的滞育解除的差异,并在探明豆天蛾滞育解除机制后,开展豆天蛾滞育诱导相关研究,解析豆天蛾滞育诱导及滞育解除机制,为实现豆天蛾幼虫周年饲养提供可行性依据。

参考文献 (References)

- Bartekova A, Praslicka J, 2006. The effect of ambient temperature on the development of cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hübner, 1808). *Plant Protection Science*, 42(4): 135–138.
- Beck SD, 1989. Factors influencing the intensity of larval diapause in *Ostrinia nubilalis*. *Journal of Insect Physiology*, 35(2): 75–79.
- Chen PY, Feng HQ, Li GP, Niu YT, Qiu F, Qiang XJ, 2015. Impacts of temperature and photophase on diapause termination of *Adelphocoris suturalis*. *Plant Protection*, 41(4): 143–145. [陈培育, 封洪强, 李国平, 牛银亭, 邱峰, 强学杰, 2015. 温度和光照对中黑盲蝽滞育解除的影响. *植物保护*, 41(4): 143–145.]
- Chen YS, Chen C, He HM, Xia QW, Xue FS, 2013. Geographic variation in diapause induction and termination of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Insect Physiology*, 59(9): 855–862.
- Chen YS, Duan DK, Chen C, Xue FS, 2012. Influence of the photoperiod and temperature on developmental periods and pupal weight of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* Hübner. *Journal of Environmental Entomology*, 34(4): 407–414. [陈元生, 段德康, 陈超, 薛芳森, 2012. 光周期和温度对棉铃虫发育历期及蛹重的影响. *环境昆虫学报*, 34(4): 407–414.]
- Chen YY, 2012. Geographic variation of egg's effective accumulated temperature in univoltine populations and effects of temperature on diapause termination of *Oxya chinensis*. Master dissertation. Hunan: Central South University of Forestry & Technology. [陈艳艳, 2012. 中华稻蝗一化性种群卵有效积温的地理变异及

- 温度对滞育解除的影响. 硕士学位论文. 湖南: 中南林业科技大学.]
- Danks HV, 1987. Insect dormancy: An ecological perspective. Ottawa. *Biological Survey of Canada, Ottawa*, 62(4): 116–122.
- Denlinger DL, 2002. Regulation of diapause. *Annual Review of Entomology*, 47: 93–122.
- Du JL, Zhao XL, 1993. Preliminary study on the effect of light on diapause of *Leguminivora glycinivorella* Matsumura. *Plant Protection*, 19(1): 17–18. [杜俊岭, 赵晓丽, 1993. 光照对大豆食心虫滞育影响的初步研究. *植物保护*, 19(1): 17–18.]
- 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.]
- Hodek I, Hodkov M, 1988. Multiple role of temperature during insect diapause. A review. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, (49): 153–165.
- Honěk A, 1996. Geographical variation in thermal requirements for insect development. *European Journal of Entomology*, 93(3): 303–312.
- Huang SH, 2009. Determination of environmental and physiological factors affect the diapause induction and termination in *Loxostege sticticalis* L.. Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [黄少虹, 2009. 诱导和解除草地螟滞育的环境生理因子的确定. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Liu XW, Chen XL, Zhang Y, Li YJ, Chen FL, Wang J, Li L, Li J, Ding H, 2014. Studies on anti-fatigue effect of alcohol extract of *Clanis bilineata* Walker. *Science and Technology of Food Industry*, (13): 362–368. [刘雪薇, 陈晓蕾, 张羊, 李一婧, 陈凤凌, 王晶, 李丽, 李建, 丁虹, 2014. 豆丹醇提物抗疲劳作用的研究. *食品工业科技*, (13): 362–368.]
- Liu ZH, Li GT, Wu FZ, Wu ZT, 2005. Research progress of *Clanis bilineata* (Walker). *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 33(6): 1101–1102. [刘志红, 李桂亭, 吴福中, 吴振廷, 2005. 豆天蛾的研究进展. *安徽农业科学*, 33(6): 1101–1102.]
- Nakamura K, Numata H, 2000. Photoperiodic control of the intensity of diapause and diapause development in the bean bug, *Riptortus clavatus* (Heteroptera: Alydidae). *European Journal of Entomology*, 97(1): 19–24.
- Qureshi MH, Murai T, Yoshida H, Shiraga T, Tsumuki H, 1999. Effects of photoperiod and temperature on development and diapause induction in the Okayama population of *Helicoverpa armigera* (Hb.) (Lepidoptera Noctuidae). *Applied Entomology and Zoology*, 34(3): 327–331.
- Song KX, 2006. Edible insect-*Clanis bilineata tsingtauca*. *Middle School Biology*, 22(12): 11–12. [宋开霞, 2006. 食用昆虫——豆天蛾. *中学生物学*, 22(12): 11–12.]
- Tauber MJ, Tauber CA, Masaki S, 1986. Seasonal Adaptations of Insects. Oxford: Oxford University Press. 111–160.
- Tian H, Zhang YM, 2009. Advances of integrated utilization on resource insect *Clanis bilineata tsingtauca*. *Guizhou Agricultural Sciences*, 37(6): 111–113. [田华, 张义明, 2009. 资源昆虫豆天蛾综合利用研究进展. *贵州农业科学*, 37(6): 111–113.]
- Tian H, Zhang YM, 2012. The anti-oxidant activity of polysaccharide CBP3 in *Clanis bilineata tsingtauca* Mell. *Food Science and Technology*, 37(6): 228. [田华, 张义明, 2012. 豆天蛾多糖CBP3 抗氧化活性研究. *食品科技*, 37(6): 228.]
- Tu XY, Xu JC, Xu DM, Liu S, Yang S, 2013. Effects of light and temperature on termination of diapause of *Brithys crini* Fabricius. *Northern Horticulture*, (22): 129–131. [涂小云, 徐佳辰, 徐冬梅, 刘思, 杨沙, 2013. 光照和温度对毛健夜蛾滞育解除的影响. *北方园艺*, (22): 129–131.]
- Xi JH, Chen YJ, Zhang XR, 2000. A list of Sphingidae in Jilin province. *Journal of Jilin Agricultural University*, 22(2): 38–40. [席景会, 陈玉江, 张秀荣, 2000. 吉林省天蛾科昆虫名录. *吉林农业大学学报*, 22(2): 38–40.]
- Xia ZQ, Wu SJ, 2012. Present situation and prospect of artificial cultivation of Doudan. *Special Economic Animal and Plant*, (9): 5–6. [夏振强, 吴胜军, 2012. 豆丹人工养殖现状及展望. *特种经济动植物*, (9): 5–6.]
- Xiao HJ, Mo 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.
- Xu WH, 2008. Advances in insect diapause. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(4): 512–517. [徐卫华, 2008. 昆虫滞育研究进展. *昆虫知识*, 45(4): 512–517.]
- Yan MH, Lu CM, Zhang GJ, Li HC, Nie XG, Zheng DY, Zheng X, 2008. Research advance in the exploitation and utilization of *Clanis bilineata tsingtauca* Mell. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 36(3): 874–876. [闫茂华, 陆长梅, 张广杰, 李怀春, 聂宪贵, 郑典元, 郑霞, 2008. 资源昆虫——豆天蛾开发利用的研究进展. *安徽农业科学*, 36(3): 874–876.]
- Yu Y, Yan YH, 1998. Influence of photoperiod and temperature on the diapause of *Orius sauteri* (Poppius). *Entomological Journal of East China*, 7(1): 65–70. [于毅, 严毓骅, 1998. 光周期和温度对东亚小花蝽滞育形成和解除的影响. *华东昆虫学报*, 7(1): 65–70.]

- Yu HC, Zhao W, Hou YM, Song XD, Wang CR, Pei HY, Wang Z, Zhuang BL, Sun LF, 2018. Study on diapause of *Ostrinia furnacalis* Guenée population in Harbin. *Journal of Northeast Agricultural University*, 49(12): 1–8. [于洪春, 赵薇, 侯月敏, 宋显东, 王春荣, 裴海英, 王振, 庄宝龙, 孙苓芙, 2018. 亚洲玉米螟哈尔滨种群滞育研究. 东北农业大学学报, 49(12): 1–8.]
- Zhang JJ, Zhang X, Du WM, Ruan CC, Zang LS, Ren BZ, 2018. Effects of inducing initial stage, temperature and period on diapause induction and diapause termination of *Trichogramma dendrolimi*. *Journal of Plant Protection*, 45(6): 1308–1313. [张俊杰, 张雪, 杜文梅, 阮长春, 臧连生, 任炳忠, 2018. 诱导始期、温度和历期对松毛虫赤眼蜂滞育诱导及解除滞育的影响. 植物保护学报, 45(6): 1308–1313.]
- Zheng XL, Wang P, Wang XP, Lei CL, 2010. Pupation place and behavior of *Lepidoptera* insects. *Bulletin of Biology*, 45(2): 11–14. [郑霞林, 王攀, 王小平, 雷朝亮, 2010. 鳞翅目昆虫的化蛹场所及行为. 生物学通报, 45(2): 11–14.]
- Zhuo DG, Li ZH, Men XY, Yu Y, Zhang AS, Li LL, Zhang SC, 2011. Effects of low temperature and photoperiod on diapause termination and developmental duration of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(2): 136–142. [卓德干, 李照会, 门兴元, 于毅, 张安盛, 李丽莉, 张思聪, 2011. 低温和光周期对绿盲蝽越冬卵滞育解除和发育历期的影响. 昆虫学报, 54(2): 136–142.]
- Zhu HF, Wang LY, 1997. *Fauna Sinica: Insecta Vol.11. Lepidoptera: Sphingidae*. Beijing: Science Press. 234. [朱弘复, 王林瑶. 1997. 中国动物志: 昆虫纲第十一卷: 鳞翅目天蛾科. 北京: 科学出版社. 234.]