

寄主植物与温度对大豆食心虫滞育期间 糖类和脂质含量的影响*

程媛** 韩岚岚** 赵奎军*** 徐馨竹 李东坡 张旭霞

(东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030)

摘要 【目的】 本文探究了大豆食心虫 *Leguminivora glycinivorella* (Mats.) Obraztsov 进入滞育以后体内糖类、脂质和水分含量的变化, 以及不同寄主植物和滞育诱导期温度对大豆食心虫体内糖类、脂质和水分含量的影响。【方法】 通过蒽酮硫酸法和氯仿甲醇分离法测定了滞育前后、以大豆 *Glycine max* (L.) Merr 和野大豆 *Glycine soja* Sieb. et Zucc. 两种植物为寄主以及不同滞育诱导温度下的大豆食心虫体内脂质、水分、总糖、糖原和海藻糖的含量, 结果利用 SPSS17.0 数据分析软件进行分析。【结果】 进入滞育阶段的大豆食心虫体内脂质、总糖、海藻糖和糖原含量显著增加, 含水量显著下降。以大豆为寄主的大豆食心虫在滞育阶段体内水分含量、总糖和糖原含量较野大豆寄主的高, 海藻糖含量较野大豆的低, 差异均显著。不同滞育诱导温度下的大豆食心虫体内生化物质含量基本一致。【结论】 滞育前后大豆食心虫体内各种生化物质变化明显, 以栽培大豆为寄主和以野大豆为寄主的大豆食心虫体内生化物质含量不同, 而滞育诱导温度对大豆食心虫体内生化物质含量影响不大。

关键词 大豆食心虫, 滞育, 寄主, 诱导温度, 生化物质

Effect of host plants and temperature on the accumulation of carbohydrates and lipid in the soybean pod borer, *Leguminivora glycinivorella* (Mats.) Obraztsov

CHENG Yuan** HAN Lan-Lan** ZHAO Kui-Jun*** XU Xin-Zhu
LI Dong-Po ZHANG Xu-Xia

(College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract 【Objectives】 To explore changes in the content of specific biochemical substances in the soybean pod borer after diapause, as well as the impact of different host plants and diapause-inducing temperatures on these substances. 【Methods】 The anthrone-sulfuric acid and methanol-chloroform extraction methods were used to determine the lipid, water, total sugar, trehalose, and glycerol, content of soybean pod borers on different host plants at different diapause-inducing temperatures before, and during, diapause. The results were analyzed with SPSS17.0 data analysis software. 【Results】 The lipid, total sugar, trehalose, and glycogen, content of soybean pod borers increased significantly when these entered diapause, but their water content decreased significantly. Soybean pod borers fed on cultivated soybeans had significantly higher water, total sugar, and glycerol, content, and significantly lower trehalose content, than those fed on wild soybeans. There were no significant differences in these biochemical substances between soybean pod borers kept under different diapause-inducing temperatures. 【Conclusion】 The levels of different biochemical substances in the soybean pod borer were affected by host plant but not by temperature. Levels of the biochemical substances examined significantly differed before and during diapause.

Key words soybean pod borer, diapause, host plant, induction temperature

*资助项目 Supported projects: 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-04); 公益性行业 (农业) 专项基金 (201103002)

**第一作者 First author, E-mail: chengyuan720@126.com; hanll_neau@163.com

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

收稿日期 Received: 2016-04-18, 接受日期 Accepted: 2016-06-29

滞育是昆虫长期适应不良自然环境而获得的一种生存本能 (Tauber *et al.*, 1986)。该过程以极低的代谢速率为其特征, 无形态变化, 也不存在器官发育和组织分化, 然而其生理过程仍在进行, 如神经分泌、脂类代谢及糖类代谢等 (Dubois *et al.*, 1956; Beck, 1980; Haykawa and Chino, 1981; Moreau, 1986)。滞育时特殊的生理代谢使得昆虫在极端环境条件下能够成功存活 (Mansingh, 1971; Storey and Storey, 1988; Denlinger, 1991)。

已有很多研究表明, 滞育越冬期间, 昆虫体内水、脂肪和小分子抗寒物质含量不是固定不变的, 而是随着环境温度的变化而变化, 进而影响着昆虫的抗寒性。如水稻二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker) 越冬幼虫 (强承魁等, 2008)、中华通草蛉 *Chrysoperlasinica* Tjeder 成虫 (郭海波等, 2006) 和异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Pallas 成虫 (赵静等, 2008) 等。另外近年来也有研究发现滞育诱导期温度对昆虫的滞育生理有重要的影响, 其滞育幼虫起始生理差别可能会影响其越冬 (李锐等, 2014)。昆虫的滞育除了受温度和滞育深度的影响外, 昆虫自身的营养状况也是一个重要的影响因素。由于在不同寄主植物上生活的昆虫的营养状况不同, 过去较多研究针对昆虫生长发育和种群增长的关系进行了研究 (王倩倩等, 2014), 较少对寄主植物对昆虫生理方面影响的研究。

大豆食心虫 *Leguminirora glycinioorella* (Mats.) Obraztsov, 属于鳞翅目卷蛾科, 是大豆最主要害虫之一, 可使被害豆粒残缺不全, 严重影响大豆的质量和产量 (高月波, 2005; 刘洋等, 2005)。然而大豆食心虫的生活习性较为特殊, 既老熟幼虫入土作茧滞育, 滞育期长达 10 个月以上, 导致对大豆食心虫的虫情预测和试验研究变得非常艰难。滞育期间生理生化变化已在许多昆虫中进行了研究 (Masaki, 1980; 苏天运和苏天增, 1995; 王满园和李周直, 2004), 然而在大豆食心虫滞育生理生化方面的研究还处于空白。因而本试验研究了大豆食心虫进入滞育以后体内生化物质含量的变化以及不同寄主和

不同滞育诱导期温度对大豆食心虫体内生物质的影响, 以揭示不同寄主和不同滞育诱导温度与大豆食心虫发生的关系, 更可为深入研究大豆食心虫抗寒性机制积累数据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试的大豆食心虫分别从东北农业大学向阳农场大豆和哈尔滨松北区的野大豆上采集。将进入末龄的大豆食心虫连同豆荚放在装有灭菌土壤的养虫盒中, 每盒 30 头, 共 5 盒, 其中 1 盒为野大豆寄主的大豆食心虫, 分别放在温度为 17、20、23、25℃ 的 4 个恒温培养箱中, 野大豆寄主的大豆食心虫放在 23℃ 恒温箱中, 相对湿度在 70%~80%, 光周期 L:D=12:12, 诱导大豆食心虫入土结茧滞育。温度处理的试虫入土 1 周后, 不同寄主的试虫滞育 2 个月后, 将滞育老熟幼虫小心地从土茧中剥出, 随机挑选, 用于各生理生化指标的测定。

1.2 试验仪器与设备

主要仪器: 高速离心机 (Sigma, 1-14)、人工气候箱 (RXZ, 宁波江南仪器厂)、紫外可见分光光度计 (Nano Photometer P-class S/N, IMPLN)、烘箱 (DPH-781, 湖北省黄石市医疗器械厂)、冰箱 (海尔)、电热恒温水浴锅 (DZKW-S-4, 北京永光明医疗仪器厂)、电子天平 (ER-180, AND)。

主要试剂: 硫酸、蒽酮、氯仿、甲醇、石英砂、氢氧化钾 KOH、乙醇、葡萄糖、三氯乙酸等, 以上试剂均为国产分析纯。

1.3 大豆食心虫含水量和脂质含量测定

取同一处理的 5 个冬茧, 剥开取出幼虫, 用蒸馏水冲洗, 吸水纸吸干幼虫体表水分, 置 1.5 mL 离心管中称虫体鲜重 (HM), 单头测试, 5 个重复。将虫体用烘箱 65℃ 烘至恒重, 为虫体干重 (DM), 加入 1 mL (氯仿甲醇 2:1) 混合液, 研磨, 2 600 r/min, 弃去上清, 残渣加 1 mL 氯仿甲醇混合液, 重复离心, 剩余残渣, 在 60℃

恒温烘烤 72 h, 至恒量, 此时为虫体去脂质干重 (LDM)。

虫体含水量为 (HM-DM) / HM; 虫体脂质含量为 (DM-LDM) / HM (Colineta *et al.*, 2007)。

1.4 大豆食心虫体内总糖、海藻糖和糖原含量的测定

采用蒽酮硫酸法测定糖的含量, (1) 标准曲线制作: 配置浓度为 100 $\mu\text{g/mL}$ 葡萄糖标准溶液, 分别取 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mL 于试管中, 不足 1 mL 者以 10% 三氯乙酸补到 1 mL。在每管中均加入 0.2% 蒽酮试剂 4 mL, 混合均匀。置沸水浴中 10 min, 流水冷却, 平衡 20 min。将空白对照组的吸光度调为零。用分光光度计于 620 nm 下测定吸光度, 制作葡萄糖浓度标准曲线。(2) 总糖提取: 取同一处理的 5 个冬茧, 剥开取出幼虫, 称重, 单头测试, 每个处理 5 个重复。加入 20 μL 10% 三氯乙酸溶液和少许石英砂, 充分匀浆后加 980 μL 三氯乙酸冲洗研棒, 在 5 000 r/min 离心 5 min, 取上清液。用 1 000 μL 三氯乙酸重复离心一次, 上清液也转入同一离心管中。取 1 000 μL 上清液于 20 mL 刻度试管中, 加入 4 mL 蒽酮溶液, 于沸水中煮沸 10 min。流水冷却, 平衡 20 min, 在 620 nm 比色, 记录吸光度。对照标准曲线得出相应浓度, 计算出虫体含糖量。(3) 糖原和海藻糖的提取: 取上述虫体匀浆液 500 μL 上清液于新的离心管中, 并加入 1 000 μL 乙醇放置在 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中过夜 (约 16~17 h), 弃掉沉淀。次日上午, 取出冰箱中过夜后的上清液, 10 000 r/min 离心 20 min, 上清液转入 20 mL 带塞刻度试管中, 加入 1 000 μL 0.15 mol/L 硫酸溶液, 于沸水浴水解 10 min, 冷却后加入 1 000 μL 30% KOH 溶液, 混合均匀, 置于沸水浴 10 min, 冷却后测海藻糖用。加入 4 mL 蒽酮溶液, 于沸水浴中煮沸 10 min, 流水冷却, 平衡 20 min, 在 620 nm 处比色, 并记录吸光度。沉淀用 1 000 μL 蒸馏水充分溶解, 转入另一 20 mL 带塞刻度试管中测糖原用, 加入 4 mL 蒽酮溶液, 于沸水浴中煮沸 10 min, 流水冷却, 平衡 20 min, 在 620 nm 处比色, 并记录吸光度 (作均样等,

2004; 丁慧梅, 2011)。

1.5 数据统计与分析

所有试验数据采用 SPSS17.0 和 Excel 数据处理软件进行分析和作图, 通过独立样本 *t*-检验和 Duncan's 新复极差法检验分析处理间差异性。

2 结果与分析

2.1 未滞育大豆食心虫与滞育阶段大豆食心虫体内脂质、水分和糖类含量比较

大豆食心虫未滞育阶段与滞育阶段脂质、糖类和水分含量如图 1 和图 2。从图 1 可以看出, 进入滞育阶段的大豆食心虫体内脂质含量由 21.49% 增加至 27.28%, 且经 *t*-检验差异显著 ($P < 0.05$), 含水量由 59.91% 降低至 52.21%, 达到差异显著水平 ($P < 0.05$)。由图 2 看出, 进入滞育阶段的大豆食心虫总糖含量由 (38.03 ± 2.52) $\mu\text{g/mg}$ 增加到 (64.87 ± 1.27) $\mu\text{g/mg}$, 糖原含量由 (26.32 ± 4.41) $\mu\text{g/mg}$ 增加至 (47.89 ± 2.39) $\mu\text{g/mg}$, 总糖含量和糖原含量变化明显, 增加近 1 倍, 海藻糖含量由 (22.41 ± 2.93) $\mu\text{g/mg}$ 增加至 (27.58 ± 3.23) $\mu\text{g/mg}$, 经 *t*-检验差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。结果表明, 进入滞育阶

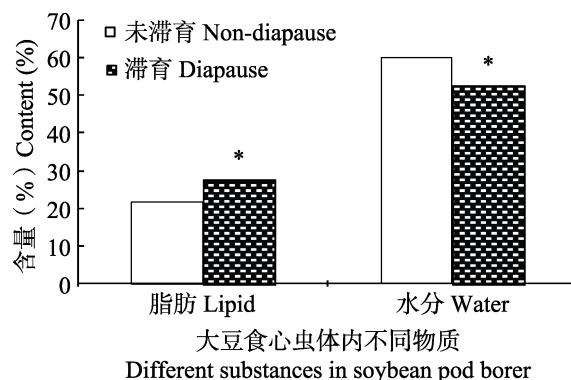


图 1 滞育阶段与未滞育阶段大豆食心虫 (大豆) 脂质和水分含量

Fig. 1 The content of lipid and water in soybean pod borer of diapause stage and non-diapause stage

柱上标有 * 表示滞育大豆食心虫体内不同物质含量较未滞育大豆食心虫有显著差异 ($P < 0.05$)。图 2~图 4 同。Histograms with * indicates significant difference at 0.05 level between soybean pod borer of diapause stage and non-diapause stage. The same as Fig. 2-Fig. 4..

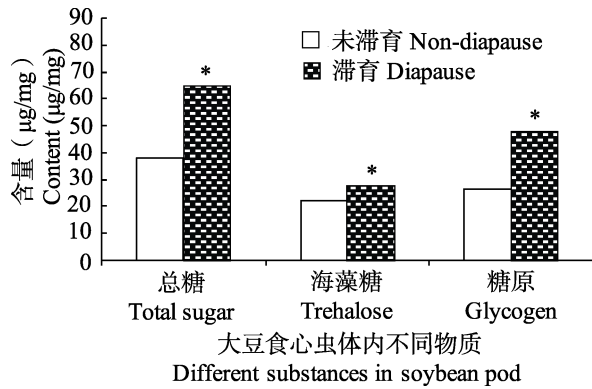


图2 滞育阶段与未滞育阶段大豆食心虫(大豆)总糖、海藻糖和糖原含量

Fig. 2 The content of carbohydrate, trehalose and glycogen in soybean pod borer of diapause stage and non-diapause stage

段的大豆食心虫体内总糖、糖原、海藻糖和脂质含量显著高于未滞育的大豆食心虫,但含水量比未滞育的大豆食心虫的低。

2.2 不同寄主大豆食心虫滞育阶段体内脂质、水分和糖类含量比较

进入滞育阶段以野大豆和大豆为寄主的大豆食心虫体内糖类、脂质和水分含量如图3和图4。从图3可以看出,滞育期间以大豆为寄主的大豆食心虫体内含水量为 $55.39\% \pm 1.85\%$,比野大豆寄主的大豆食心虫含水量 ($50.36\% \pm 1.60\%$) 高,经 t -检验差异显著 ($P < 0.05$);脂质含量为 $21.78\% \pm 2.27\%$,较野大豆寄主大豆食心虫脂质含量 ($23.20\% \pm 2.37\%$) 偏低,但经 t -检验差异不显著 ($P < 0.05$)。从图4可以看出,以大豆为寄主的大豆食心虫滞育阶段总糖含量为 $(66.25 \pm 8.96) \mu\text{g/mg}$,比野大豆寄主大豆食心虫总糖含量 ($46.38 \pm 6.69) \mu\text{g/mg}$ 高近40%,糖原含量 ($34.70 \pm 7.16) \mu\text{g/mg}$ 比野大豆寄主大豆食心虫糖原含量 ($17.45 \pm 2.71) \mu\text{g/mg}$ 高近1倍,海藻糖含量 ($34.29 \pm 4.51) \mu\text{g/mg}$ 比野大豆寄主大豆食心虫海藻糖含量 ($45.20 \pm 5.78) \mu\text{g/mg}$ 低,且差异显著 ($P < 0.05$)。结果表明,大豆寄主上的大豆食心虫体内含水量、总糖、糖原含量比野大豆寄主上大豆食心虫高,而海藻糖含量较野大豆寄主大豆食心虫的低,脂质含量两者基本相同。

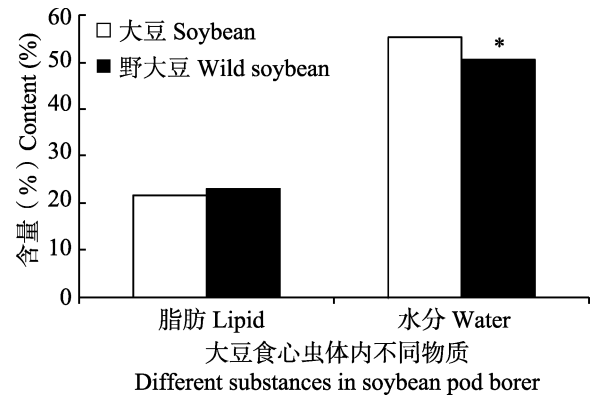


图3 大豆与野大豆寄主大豆食心虫体内脂质和水分含量

Fig. 3 The content of lipid and water in soybean pod borer fed on soybean and wild soybean

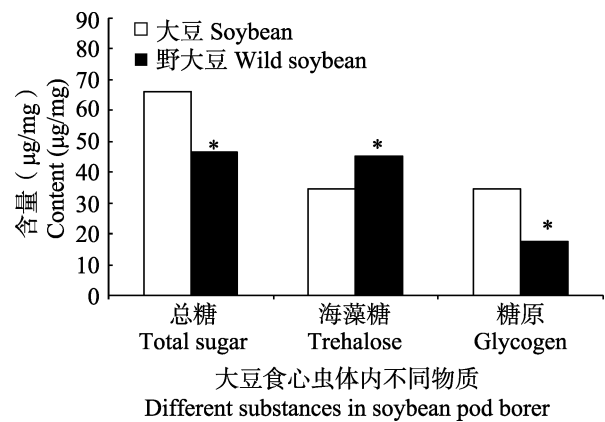


图4 大豆与野大豆寄主大豆食心虫总糖、海藻糖和糖原含量

Fig. 4 The content of carbohydrate, trehalose and glycogen in soybean pod borer fed on soybean and wild soybean

2.3 不同诱导温度下对进入滞育大豆食心虫体内脂质、水分和糖类含量的影响

未滞育的大豆食心虫放置在不同温度处理下,1周后所有大豆食心虫均进入滞育。从图5可以看出,不同滞育诱导温度下大豆食心虫体内脂质含量 ($25.69\% \pm 4.96\%$) ~ ($28.28\% \pm 0.88\%$) 之间,经方差分析,各个处理间差异不显著 ($P < 0.05$);虫体含水量在 ($51.29\% \pm 2.30\%$) ~ ($55.39\% \pm 4.25\%$) 之间,各个处理间差异不显著 ($P < 0.05$)。由图6可以看出,总糖含量在 (59.77 ± 2.43) ~ ($64.47 \pm 1.36) \mu\text{g/mg}$ 之间,各个处理间差异不显著 ($P < 0.05$);海藻糖含量在 (25.68 ± 4.07) ~ ($29.55 \pm 4.38) \mu\text{g/mg}$ 之间,各个处理间

差异不显著 ($P < 0.05$)；糖原含量在 $(43.26 \pm 6.86) \sim (48.19 \pm 2.67) \mu\text{g}/\text{mg}$ 之间，各个处理间差异不显著 ($P < 0.05$)。结果表明，在 0°C 以上不同的滞育诱导温度下，滞育的大豆食心虫体内糖类、脂质、水分含量基本相同，不受温度影响。

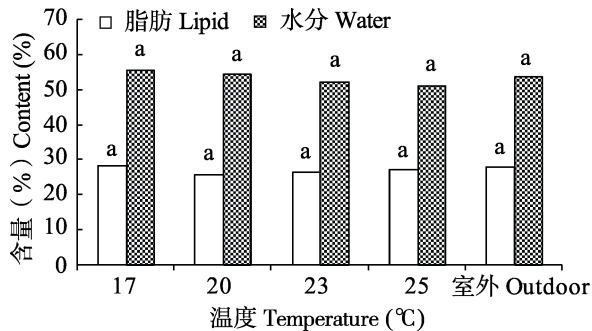


图5 不同滞育诱导温度下大豆食心虫(大豆)脂质和水分含量

Fig. 5 The content of lipid and water in soybean pod borer at different diapauses-inducing temperature

柱上标有不同字母表示经方差分析存在显著差异 ($P < 0.05$)。下图同。

Histograms with different letters indicate significant difference analyzed by variance analysis at 0.05 level. The same below.

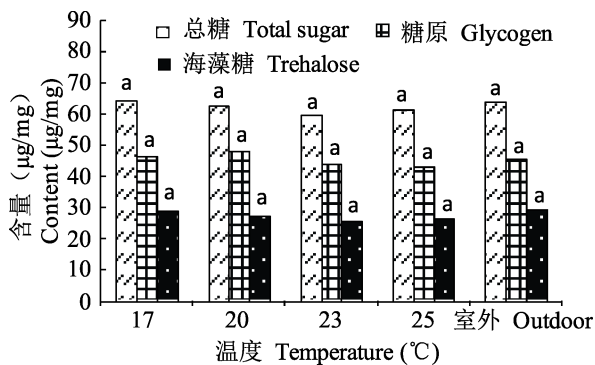


图6 不同滞育诱导温度下大豆食心虫(大豆)总糖、海藻糖和糖原含量

Fig. 6 The content of carbohydrate, trehalose and glycogen in soybean pod borer at different diapauses-inducing temperature

3 讨论

本研究只是对不同因素处理下滞育1周或2个月所获得的结果。由于昆虫滞育期间体内仍然在缓慢代谢，因此生化物质在滞育期间不同阶段是一个变化的过程，本文仅研究的是特定时间节点上进入滞育阶段的大豆食心虫体内物质含量

变化的结果。

本研究结果显示，进入滞育阶段的大豆食心虫脂肪、总糖、海藻糖和糖原含量明显增加，而虫体含水量下降。由于糖原和脂肪是大豆食心虫滞育阶段主要储能物质，所以从滞育前期虫体会大量积累此类物质，以便在漫长的滞育期为大豆食心虫提供能量保证。而海藻糖是昆虫体内主要的血糖，也是一种抗冻剂，在低温的恶劣环境条件下在细胞表面能形成独特的保护膜，有效地保护蛋白质分子不变性失活，从而维持生命体的生命过程和生物特征 (Crowe *et al.*, 1990; Williams, 1990)。因此，推测由于海藻糖是大豆食心虫体内一种抗冻剂，所以海藻糖含量滞育以后会增加，从而保证大豆食心虫能够顺利度过冬季的低温。松阿扁叶蜂 *Acantholyda posticalis* (梁中贵, 2005)、赤松毛虫 *Dendrolimus spectabilis* (韩瑞东等, 2005) 和桑螟 *Diaphania pyloalis* (陈永杰等, 2005) 等幼虫在滞育前将体内游离水排出或部分转化为结合水，以提高体液浓度确保体内较大又连续的水相可被一些组织或高浓度物质分隔，或诱导抗冻蛋白生成等来阻止虫体胞内结冰，从而避免胞内或其它重要部位遭冷害，这属于绝大多数昆虫的一种应对越冬气温变化的积极应答机制 (Colineta *et al.*, 2007)。本研究结果滞育大豆食心虫体内含水量下降与此相符。

本研究对比两种寄主植物大豆食心虫体内多种生化物质含量，发现以大豆和野大豆为寄主的大豆食心虫体内水分、总糖、糖原和海藻糖含量均显著不同，说明寄主对大豆食心虫体内生化物质含量有显著影响。由于不同寄主大豆食心虫进入滞育以后体内生化物质含量不同，而昆虫体内生化物质作为昆虫生命活动过程中重要的能源物质和中间代谢产物，与昆虫冬季的抗寒和存活能力密切相关 (王鹏等, 2014)，推测寄主对大豆食心虫能否度过冬季滞育，成功羽化有一定影响。

研究表明， 0°C 以上不同滞育期诱导温度对大豆食心虫体内生化物质含量均不显著，说明滞育诱导期温度对大豆食心虫体内生化物质含量影响不大。由于大豆食心虫秋季进入滞育期间

外界温度变化较大, 因此体内生理储备的改变无法确定是由自身进入滞育引起还是由于外界环境条件改变所引起。而本研究通过改变滞育诱导温度, 并未发现不同处理温度下大豆食心虫体内相关物质有明显差异, 由此可以初步推测大豆食心虫进入滞育相关物质含量的改变是由于滞育的产生所引起。

参考文献 (References)

- Beck SD, 1981. Insect photoperiodism. *Physiological Entomology Hyperlink*, "http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pen.1981.6.issue-1/issuetoc", 6(1): 99–116.
- Chen YJ, Sun XG, Zhang WG, 2005. Relation between variation of water, fat, glycerol in vivo of over-wintering *Diaphania pyloalis* Walker larvae and cold-hardiness. *Canye Kexue*, 31(1): 22–25. [陈永杰, 孙绪良, 张卫光, 2005. 桑螟越冬幼虫体内水分、脂肪、甘油的变化与抗寒性的关系. 蚕业科学, 31(1): 22–25.]
- Colineta H, Vernonb P, Hance T, 2007. Does thermal-related plasticity in size and fat reserves influence super-cooling abilities and cold-tolerance in *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiinae) mummies. *Journal of Thermal Biology*, 32 (7): 374–382.
- Crowe JH, Carpenter JF, Crowe LM, Anchordoguy TJ, 1990. Are freezing and dehydration similar stressvectors. A comparison of modes of interaction of stabilizing solutes with biomolecules. *Cryobiology*, 27(3): 219–231.
- Denlinger DL, 1991. Relationship between cold hardiness and diapause//Lee REJr, Denlinger DL (eds.). *Insects at Low Temperature*. NewYork: Chapman and Hall. 174–198.
- Ding HM, 2011. Study on dynamic changes of biochemeal indices of the peach fruit moth (*Carposina sasakii* Matsumura) during diapause period. Doctoral thesis: Beijing Forestry University. [丁慧梅, 2011. 桃小食心虫滞育期间生化指标含量的动态变化. 硕士学位论文: 北京林业大学.]
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, 1956. Colorimetric method for determination of surgar and related substances. *Analyical Chemistry*, 28(3): 350–356.
- Gao YB, 2005. Soybean pod borer research and application forecasts predict. *Jilin Agricultural Sciences*, 30(3): 18–20. [高月波, 2005. 大豆食心虫预测预报的研究与应用. 吉林农业科学, 30(3): 18–20.]
- Guo HB, Xu YY, Ju Z, Li MG, 2006. Seasonal changes of cold hardiness of the green lacewing *Chrysoperla sinica* (Tjeder) (Neuroptera: Chrysopidae). *Acta Ecologica Sinica*, 26(10): 3238–3244. [郭海波, 许永玉, 鞠珍, 李明贵, 2006. 中华通草蛉成虫抗寒能力季节性变化. 生态学报, 26(10): 3238–3244.]
- Han RD, Sun XG, Xu YY, 2005. The biochemical mechanism of cold-hardiness in overwintering larva of *Dendrolimus spectabilis* Buter (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Acta Ecologica Sinica*, 25(6): 1352–1356. [韩瑞东, 孙绪良, 许永玉, 2005. 赤松毛虫越冬幼虫生化物质变化与抗寒性的关系. 生态学报, 25(6): 1352–1356.]
- Haykawa Y, Chino H, 1981. Temperature-dependent interconversion between glycogen and trehalose in diapausing pupae of *Philosamia cyntha ricini* and *pryeri*. *Insect Biochem.*, 11(1): 43–47.
- Liang ZG, Zhang WG, Liu XH, 2005. Cold-hardiness analysis of overwintering larva of *Acantholyda posticalis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(6): 695–699. [梁中贵, 张卫光, 刘学辉, 2005. 松阿扁叶蜂越冬幼虫体内抗寒物质分析. 昆虫知识, 42(6): 695–699.]
- Li R, Zhao F, Peng Y, Liang LN, Zhang B, Han JC, Ma CS, 2014. Diapause induction temperature cycle peach borer larvae affect the physiological indices of diapause. *Journal of Insects*, 57(6): 639–646. [李锐, 赵飞, 彭宇, 梁丽娜, 张博, 韩巨才, 马春森, 2014. 滞育诱导温周期对桃小食心虫滞育幼虫生理指标的影响. 昆虫学报, 57(6): 639–646.]
- Liu Y, Wang JA, Zhao KJ, 2005. Genetic studies of soybean against soybean pod borer. *Northeast Agricultural University*, 36(2): 138–141. [刘洋, 王继安, 赵奎军, 2005. 大豆抗食心虫性遗传研究. 东北农业大学学报, 36(2): 138–141.]
- Mansingh A, 1971. Physiological classification of dormancies in insects. *Canadian Entomologist*, 103(3): 983–1009.
- Masaki S, 1980. Summer diapause. *Annu. Rev. Entomol.*, 25: 1–25.
- Moreau R, 1986. Variation of trealosaemia and of trehalose activity during development and diapause of *Pieris brassicae*. *Rev. Appl. Ent.*, 74(1): 3823.
- Qiang CK, Du YZ, Yu LY, Cui YD, Lu MX, Zheng FS, 2008. Dynamic changes of cold-resistant substances of overwintering *Chilo suppressalis* (Walker) larvae. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19(3): 599–605. [强承魁, 杜予州, 于玲雅, 崔亚东, 陆明星, 郑福山, 2008. 水稻二化螟越冬幼虫耐寒性物质的动态变化. 应用生态学报, 19(3): 599–605.]
- Storey KB, Storey JM, 1988. Freeze tolerance in animals. *Physiological Reviews*, 68(1): 27–83.
- Su TY, Su TZ, 1995. The chemical mechanism of insect diapause research. *Sichuan Animal*, 14 (3/4): 113–116. [苏天运, 苏天增, 1995. 昆虫滞育化学机制研究概况. 四川动物, 14(3/4): 113–116.]
- Tauber MJ, Tauber CA, Masaki S, 1986. Seasonal Adaptations of

- Insects. New York: Oxford University Press. 411.
- Wang QQ, Li KQ, Yin J, Xiao C, Cao YZ, Cheng C, 2014. Effect of different host plants on insect growth and development. *Modern Plant Protection and Innovation-Driven. Pceedings of the 11th Nation Congress and academic annual meeting 2013 of China Society of Plant Protection, China Agricultural Science and Technology Press.* 66–72. [王倩倩, 李克斌, 尹娇, 肖春, 曹雅忠, 程乘, 2014. 不同寄主植物对昆虫生长发育的影响. 创新驱动与现代植保-中国植物保护学会第十一次全国会员代表大会暨 2013 年学术年会论文集. 中国农业科学技术出版社. 66–72.]
- Wang P, Yu Y, Xu YH, Li LL, Zhang AS, Men XY, Zhang SC, Zhou XX, 2014. Effects of host plants on the peach fruit moth larvae overwintering cold material. *Journal of Applied Ecology*, 25 (5): 1513–1517. [王鹏, 于毅, 许永玉, 李丽莉, 张安盛, 门兴元, 张思聪, 周仙红, 2014. 寄主植物对桃小食心虫越冬幼虫耐寒性物质的影响. 应用生态学报, 25(5): 1513–1517.]
- Wang MT, Li ZZ, 2004. Advances in insect diapause. *Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 28 (1): 71–76. [王满囤, 李周直, 2004. 昆虫滞育的研究进展. 南京林业大学学报(自然科学版), 28(1): 71–76.]
- Williams WP, 1990. Cold-induced lipid phase transitions. *Philoso. Trans. R. Soc. Lond.*, 326b(1237): 555–570.
- Wu JX, Yuan F, Su L, 2004. Sugars changes of the wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera:Cecidomyiidae) larvae during diapause. *Acta Insect Sinica*, 47 (2): 178–183. [仵均祥, 袁锋, 苏丽, 2004. 麦红吸浆虫幼虫滞育期间糖类物质变化. 昆虫学报, 47(2): 178–183.]
- Zhao J, Yu LY, Li M, Zheng FQ, Zhang F, Xu YY, 2008. Seasonal variation in cold tolerance of the multicolored ladybeetle, *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) adults. *Acta Entomologica Sinica*, 51(12): 1271–1278. [赵静, 于令媛, 李敏, 郑方强, 张帆, 许永玉, 2008. 异色瓢虫成虫耐寒能力的季节性变化研究. 昆虫学报, 51(12): 1271–1278.]