

麦红吸浆虫幼虫滞育期间糖类物质变化

仵均祥¹, 袁 锋¹, 苏 丽²

(1. 西北农林科技大学植物保护学院, 陕西杨凌 712100;

2. 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100080)

摘要: 分析研究了麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) 幼虫滞育期间总糖、海藻糖和糖原含量的变化。结果表明: 不同滞育年限幼虫的总糖含量无显著差异。在滞育年周期中, 不同时期的滞育幼虫总糖含量明显不同。幼虫老熟入土滞育以前的总糖含量明显高于入土滞育期间。入土滞育过程中, 越冬期和春季的总糖含量明显高于夏季和秋季。同期的裸露幼虫与结茧幼虫的总糖含量仅在秋季有一定的差异, 其他时间基本相似。结茧幼虫滞育期间的海藻糖含量一直维持较高的水平, 说明其滞育期间的糖醇积累型属于海藻糖积累型; 秋季与春季糖原含量的增加可能与麦红吸浆虫的滞育解除或滞育强度的变化有一定的关系。

关键词: 麦红吸浆虫; 滞育; 总糖; 海藻糖; 糖原

中图分类号: Q965 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2004)02-0178-06

Change of carbohydrate contents in larvae of the wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) during mature and diapause stage

WU Jun-Xiang¹, YUAN Feng¹, SU Li² (1. College of Plant Protection, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Contents of total carbohydrate, trehalose, glycogen in diapausing larvae of the wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) in various periods were examined, respectively. Results showed that there was no significant difference in the contents of total carbohydrates between 1st and 2nd year diapausing larvae. There were obvious differences in the content of total carbohydrates among larvae from the various seasons. The content of total carbohydrates in the mature larvae living on the wheat head was higher than that of larvae in the soil. Based on the change of total carbohydrate contents in the diapausing larvae, its development could be divided into two stages: Stage 1, from June to October; and Stage 2, from November to April of next year. There was lower content of carbohydrates in Stage 1 than that in Stage 2. Change trends of carbohydrate content in both cocooned and non-cocooned larvae were similar in various periods. Content of trehalose in cocooned larvae in whole diapause period was kept on a higher level, and therefore the type of carbohydrate-alcohol accumulation of cocooned larvae of the wheat midge in diapause periods belongs to trehalose accumulation. The increasing content of glycogen was possibly related to diapause termination or change of diapause intensity in autumn and spring.

Key words: *Sitodiplosis mosellana*; diapause; total carbohydrate; trehalose; glycogen

麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) 是北半球小麦生产中间歇性大发生的毁灭性害虫, 20 世纪 50 年代和 80 年代曾两次在我国大面积暴发成灾, 对小麦生产造成了严重影响(昆虫教研组, 1956; 杨平澜, 1959; 曾省, 1965; 张克斌等, 1988; 陈巨莲和倪汉祥, 1998)。近年来, 麦红吸浆虫在大范围内猖

獗成灾的势头虽然得到了有效控制, 但局部地区大发生的现象仍时有发生(祝传书和袁锋, 2002; 仵均祥和袁锋, 2002)。多年来的研究表明, 麦红吸浆虫特有的滞育多态现象(越冬滞育、越冬至越冬滞育、二次滞育和延长多年滞育)是引起间歇性、区域性、团块不均匀性成灾的主要原因之一。

基金项目: 国家自然科学基金农业倾斜项目(39770499); 国家自然科学基金面上项目(30370936)

作者简介: 仵均祥, 男, 1961 年 2 月生, 陕西凤翔人, 博士, 教授, 研究方向为害虫综合防治, E-mail: junxw@nwsuaf.edu.cn; junxw@163.net

收稿日期 Received: 2003-05-08; 接受日期 Accepted: 2003-07-18

长期以来, 由于受麦红吸浆虫间歇性成灾特点和研究手段的限制, 有关麦红吸浆虫滞育与其体内化学物质变化之间的关系研究很少, 仅仵均祥等(2001)、仵均祥和袁锋(2002)、仵均祥等(2003)测定了麦红吸浆虫滞育过程中脂肪酸、氨基酸组分和含量及核酸含量的变化。糖类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, 与昆虫滞育的发生、维持和终止有密切的关系。有关麦红吸浆虫滞育动态与糖类物质含量及其变化的关系尚未见报道, 鉴于此, 作者研究了麦红吸浆虫老熟幼虫与幼虫滞育期间糖类物质含量的变化, 以揭示糖类物质与小麦吸浆虫滞育阶段的相关性, 为麦红吸浆虫的预测预报及防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试虫来源

2000年5月小麦黄熟期, 在陕西省长安县田间采集有虫麦穗, 放入室外养虫圃中让幼虫自然离穗落土, 于不同时期淘捡出来置 -20°C 冰箱中保存待用。

1.2 测定方法

参照姜守星(1993)的方法, 进行了部分修改, 详细步骤如下。

1.2.1 标准曲线制作: 取6支试管, 分别加入100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 糖标准溶液0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8和1.0 mL, 不足1 mL者以10%三氯乙酸补体积到1 mL。每管中均加入0.2%蒽酮试剂4 mL, 混合均匀。置于沸水浴中10 min, 流水冷却, 平衡20 min。用722型光栅分光光度计(上海第三分析仪器厂)620 nm波长下进行比色分析, 记录吸光值。重复3次, 以葡萄糖含量为纵坐标, 吸光值为横坐标绘制标准曲线。

1.2.2 试虫含糖量分析:

(1)总糖提取: 取同一时间淘捡的幼虫10头, 蒸馏水冲洗, 吸水纸吸干幼虫体表水分, 置0.5 mL EP管中称重后, 加入20 μL 10%三氯乙酸溶液和少许石英砂, 充分匀浆后加380 μL 冲洗研棒。于5 000 r/min离心5 min, 将上清液转入10 mL带塞玻璃试管中。用400 μL 10%三氯乙酸溶液溶解沉淀再离心提取1次。弃沉淀, 合并上清液, 并加入蒸馏水200 μL 待测。重复3次。

(2)海藻糖和糖原提取: 取同一时间淘捡的幼虫10头, 蒸馏水冲洗, 吸水纸吸干幼虫体表水分, 置于0.5 mL EP管中称重后, 加入60 μL 10%三氯乙酸

和少许石英砂, 研磨, 充分匀浆。5 000 r/min离心10 min, 将上清液转入另一1.0 mL Eppendorf管中。沉淀再用40 μL 10%三氯乙酸提取1次, 合并上清液, 加入无水乙醇400 μL , 4°C 冰箱中过夜(约16~17 h), 弃掉沉淀。翌日上午, 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10 mL带塞试管中, 加入1 000 μL 0.15 mol/L H_2SO_4 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, 冷却后待测海藻糖用。用1 000 μL 蒸馏水溶解沉淀, 转入另一10 mL带塞玻璃试管中待测糖原用。重复3次。

(3)比色: 与制作标准曲线的方法同法测定待测液的吸光值。

(4)数据处理: 根据待测液的吸光值, 在标准曲线上查出相应的糖含量, 按下式计算试虫体内各种测试成分的实际含量: 虫体含糖量($\mu\text{g}/\text{mg}$) = [从标准曲线查得的糖含量($\mu\text{g}/\text{mL}$) \times 样品稀释量(mL)] / 虫重(mg)。方差分析及Duncan比较采用SAS软件中的GLM分析程序。

2 结果与分析

2.1 麦红吸浆虫滞育期间总糖含量变化

麦红吸浆虫以幼虫刺吸小麦灌浆期子粒的汁液, 引起小麦子粒灌浆不饱满而造成危害。从表1可以看出, 麦红吸浆虫幼虫的总糖含量较高, 麦穗幼虫总糖含量达39.967 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 其他时间的总糖含量为17.313~31.590 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 。麦穗幼虫与滞育幼虫的总糖含量差异显著, 而前者含量较高; 在滞育期间, 不同时期的滞育幼虫的糖含量存在一定差异。

2.1.1 当年滞育幼虫与2年滞育幼虫总糖含量比较: 对同一时期(6月下旬和10月中旬), 但在土中滞育年限不同(2000年入土, 2000年和2001年分别取样)的幼虫总糖含量测定结果见表1。结果表明, 同一时期不同滞育年限幼虫的总糖含量无明显差异。6月下旬, 当年滞育和进入第2年滞育结茧幼虫的总糖含量分别为(19.186 \pm 1.879) $\mu\text{g}/\text{mg}$ 和(19.012 \pm 1.616) $\mu\text{g}/\text{mg}$; 10月中旬, 当年滞育和进入第2年滞育结茧幼虫的总糖含量分别为(19.701 \pm 1.691) $\mu\text{g}/\text{mg}$ 和(21.269 \pm 1.466) $\mu\text{g}/\text{mg}$ 。

2.1.2 不同时期滞育幼虫总糖含量比较: 在滞育年周期中, 不同时期的滞育幼虫总糖含量有较大的差异。幼虫老熟入土之前(即麦穗幼虫阶段), 总糖含量最高, 达(39.967 \pm 3.500) $\mu\text{g}/\text{mg}$, 显著高于其他

时间的总糖含量(表 1)。在幼虫入土滞育期间,从 6 月至翌年 4 月,总糖含量的变化大体可分为两个阶段: 6~10 月为一个阶段,含糖量相应较低,平均为 19.446 $\mu\text{g}/\text{mg}$; 11 月至翌年 4 月为另一个阶段,含糖

量明显增加,平均为 25.498 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 。方差分析结果表明,不同时期滞育幼虫的总糖含量具有极显著的差异($F = 10.75$, $F_{0.01} = 2.77$)。

表 1 麦红吸浆虫幼虫不同时期糖类含量变化

Table 1 Change of carbohydrate contents in larvae of *Sitodiplosis mosellana* in different periods

采集时间(年.月.日) Collection date(Year. Month. Day)	幼虫状态 State of larvae	总糖 ($\mu\text{g}/\text{mg}$) Total carbohydrate	海藻糖 ($\mu\text{g}/\text{mg}$) Trehalose	糖原 ($\mu\text{g}/\text{mg}$) Glycogen
2000.05.20	麦穗幼虫 LWA	39.967 \pm 3.500 A	1.213 \pm 0.669 F	1.712 \pm 0.238 D
2000.06.20	裸露幼虫 NCL	17.313 \pm 3.274 F	未检测到 Not detectable	2.564 \pm 1.056 CD
2000.06.20	结茧幼虫 CL	19.186 \pm 1.879 DEF	9.687 \pm 0.050 C	2.318 \pm 0.864 D
2000.08.05	结茧幼虫 CL	18.812 \pm 3.606 EF	5.925 \pm 1.422 CD	0.715 \pm 0.123 D
2000.09.15	结茧幼虫 CL	19.737 \pm 0.790 DEF	7.503 \pm 1.739 CD	5.061 \pm 1.143 BC
2000.09.20	结茧幼虫 CL	19.314 \pm 0.375 DEF	-	-
2000.10.11	裸露幼虫 NCL	23.311 \pm 1.432 CDEF	-	-
2000.10.11	结茧幼虫 CL	19.701 \pm 1.691 DEF	-	-
2000.10.20	裸露幼虫 NCL	19.897 \pm 2.350 DEF	-	-
2000.10.20	结茧幼虫 CL	17.746 \pm 0.099 EF	-	-
2000.11.08	结茧幼虫 CL	21.177 \pm 0.508 DEF	7.258 \pm 0.456 CD	1.163 \pm 0.947 D
2001.01.06	结茧幼虫 CL	22.453 \pm 2.282 DEF	12.206 \pm 1.064 B	1.030 \pm 0.773 D
2001.02.27	裸露幼虫 NCL	27.718 \pm 2.391 CD	0.805 \pm 0.673 F	10.064 \pm 1.402 A
2001.02.27	结茧幼虫 CL	24.579 \pm 0.990 CDE	10.205 \pm 1.029 A	8.782 \pm 1.476 A
2001.04.05	裸露幼虫 NCL	31.590 \pm 1.625 BC	1.739 \pm 0.589 F	11.080 \pm 1.731 A
2001.04.20	裸露幼虫 NCL	27.294 \pm 0.779 CD	未检测到 Not detectable	9.454 \pm 1.786 A
2001.04.20	结茧幼虫 CL	23.678 \pm 0.759 CDE	3.383 \pm 0.722 EF	7.924 \pm 1.363 AB
2001.06.24	结茧幼虫 CL	19.012 \pm 1.616 DEF	8.955 \pm 0.158 C	2.117 \pm 0.039 D
2001.10.11	结茧幼虫 CL	21.269 \pm 1.466 DE	-	-

LWA: Larvae from wheat ear; NCL: Non-cocooned larvae; CL: Cocooned larvae;“-”: 由于样品不足,未进行海藻糖和糖原的测定 The contents of trehalose and glycogen weren't assayed due to fewer sample animals in the experiments.

不同时期同一成分的差异比较用 Duncan 比较法,具有不同字母的值之间存在极显著差异($\alpha = 0.01$)Duncan's comparison was used to analyse the difference of the same composition in various periods. There was significant difference among the contents with the same letters ($\alpha = 0.01$).

2.1.3 不同滞育状态幼虫总糖含量比较: 小麦吸浆虫幼虫在土中滞育期间,其存在形式可分为两种,即裸露幼虫和结茧幼虫。一般情况下,以结茧幼虫为主,所占比例较大,但在秋季和春季调查时,裸露幼虫的比例常有明显上升的趋势(仵均祥等,2003)。从图 1 可以看出,裸露幼虫的总糖含量随季节变化较大,在秋季和春季均出现含量增加的现象。结茧幼虫总糖含量在不同季节相对比较稳定,仅在春季略有升高。

从图 2 可以看出,同一时间采集的裸露幼虫与结茧幼虫比较,二者的总糖含量差异不大,方差分析表明,二者之间并无显著的差异。

2.2 麦红吸浆虫幼虫滞育期间海藻糖含量的变化

从表 1 可以看出,在麦穗幼虫和入土尚未结茧(裸露状态,2000 年 6 月 20 日采集)的幼虫中,海藻糖的含量很低或难以检测到。从 6 月下旬以后,结茧幼虫的海藻糖含量明显增加,至翌年 4 月上旬以前,一直维持在一个较高的水平。特别是在 2001 年 1 月 6 日和 2 月 27 日的结茧幼虫中,海藻糖含量分别达(12.206 \pm 1.064) $\mu\text{g}/\text{mg}$ 和(10.205 \pm 1.029) $\mu\text{g}/\text{mg}$ 。4 月上旬以后,结茧幼虫的海藻糖含量急剧下降。但是,裸露幼虫的海藻糖含量一直很低,甚至检测不到。方差分析表明,不同时期的滞育幼虫或同一时期不同状态的滞育幼虫,海藻糖含量均存在极

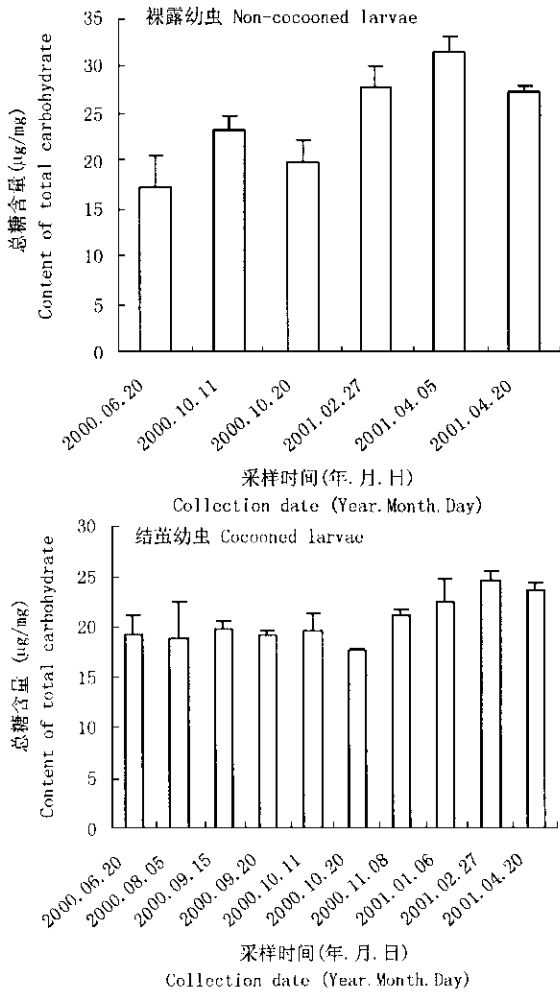


图1 麦红吸浆虫裸露幼虫与结茧幼虫不同时期总糖含量变化

Fig. 1 Change of total carbohydrate contents in non-cocooned and cocooned larvae of *Sitodiplosis mosellana* in different periods

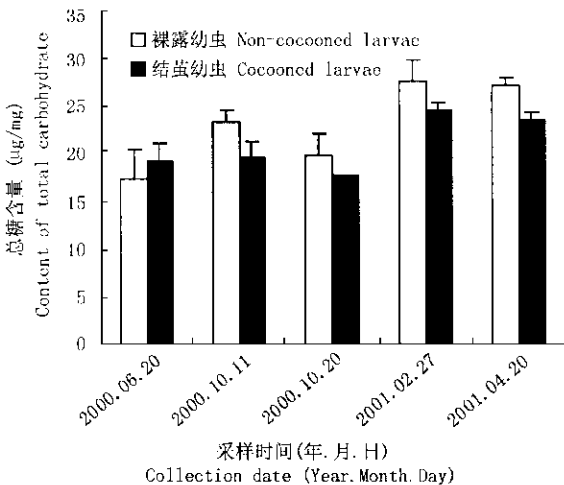


图2 麦红吸浆虫滞育期间裸露幼虫与结茧幼虫总糖含量比较

Fig. 2 Comparison to contents of total carbohydrates in both non-cocooned and cocooned larvae of *Sitodiplosis mosellana* during diapause

显著的差异 ($F = 30.24, F_{0.01} = 3.30$)。

2.3 麦红吸浆虫幼虫滞育期间糖原含量的变化

从图3可以看出,麦红吸浆虫幼虫滞育过程中,夏季和冬季的糖原含量明显较低,秋季和春季则明显增加。方差分析表明,不同时期的滞育幼虫糖原含量存在极显著的差异 ($F = 14.99, F_{0.01} = 2.90$)。同一时期的裸露幼虫与结茧幼虫比较,二者的糖原含量基本相似,无显著差异(图4)。说明麦红吸浆虫幼虫滞育过程中,裸露幼虫与结茧幼虫的糖原变化趋势是一致的。

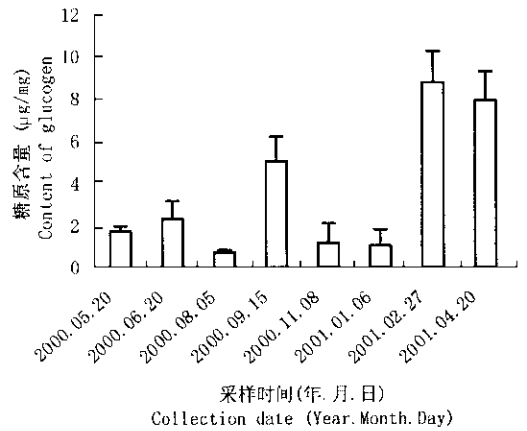


图3 麦红吸浆虫结茧幼虫糖原含量变化

Fig. 3 Change of glycogen contents in cocooned larvae of *Sitodiplosis mosellana*

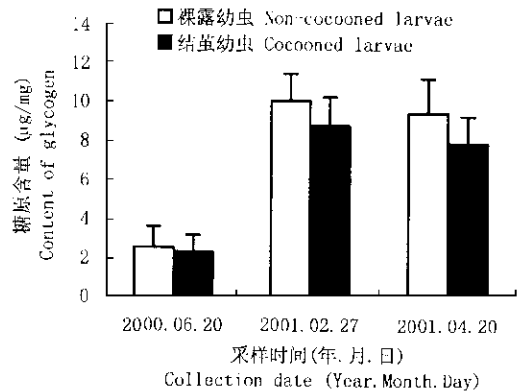


图4 同一时期麦红吸浆虫裸露幼虫与结茧幼虫糖原含量变化比较

Fig. 4 Comparison of glycogen contents in non-cocooned and cocooned larvae *Sitodiplosis mosellana* during diapause

3 讨论

昆虫是变温动物。昆虫的生长、发育和种群动态都随着气候的变化呈现明显的季节性波动。秋末冬初气温下降到一定程度时,大多数昆虫都在其生

活史的某个阶段停止发育,进入越冬状态(冬眠)。有些昆虫在夏季也会停止发育,进入越夏状态(夏蛰)。冬眠和夏蛰又分别包含两种性质完全不同的类型——静息(*quiescence*)和滞育(*diapause*)。静息指因不利环境因素(如温度)达到一定强度直接引起昆虫生长、发育或其他活动暂时停止,转而进入“静观其变”、“等待时机”的状态,当不利环境条件解除时,这些昆虫随即恢复正常的生长发育。滞育指昆虫事先感受到不利环境变化的某种信号(主要是光周期),通过包括体内一系列生理、生化变化的编码过程,随后诱导的发育停止;滞育一旦发生,通常都会持续一段时间,并不因不利环境条件的解除而立即结束(吴坤君,2002)。麦红吸浆虫一年发生一代,老熟幼虫于小麦黄熟期从小麦穗子上脱落,进入土壤,结茧或以裸露状态越夏、越冬,直至翌年春季化蛹、羽化。但也有部分幼虫可于当年夏、秋季化蛹羽化(胡木林和张克斌,1995;袁锋,待发表资料),或翌年春季仍不化蛹羽化,在土壤中连续滞育多年(Barnes, 1943, 1952)。由此可见,麦红吸浆虫是一种典型的具有滞育多态性的昆虫。

本研究结果表明,麦红吸浆虫不同滞育年限的幼虫总糖含量无明显的差异,说明麦红吸浆虫幼虫在滞育过程中,能量消耗是非常经济的,从能量消耗的角度证明了麦红吸浆虫连续多年滞育的可能性。这或许就是其个体很小,但在土壤中能够连续滞育12年之久(Barnes, 1952)的一个重要原因。一年当中,不同时期的滞育幼虫总糖含量有较大的差异。幼虫老熟落入土中以前,总糖含量显著高于在土中滞育期间的总糖含量。造成这一现象的原因可能与麦穗幼虫所处的发育阶段和取食的食物有关。麦红吸浆虫以幼虫刺吸小麦灌浆期的子粒汁液造成危害,子粒汁液中含有大量可溶性糖类,故使这一阶段的幼虫体内含有较多的糖分。随着幼虫离穗入土,不再从小麦子粒吸取营养物质,虫体代谢发生了变化,糖类物质的一部分转化为与滞育代谢相关的物质或储藏物质,加之入土过程中,需要消耗大量的糖类物质供活动和吐丝结茧等的需要,从而使幼虫总糖含量明显降低。进入土壤滞育过程中,总糖含量的变化一方面反映了冬季低温和春季幼虫活动对糖类物质代谢的影响,另一方面也表明麦红吸浆虫滞育期间,化学物质含量随外界环境条件的变化处于动态变化之中。

裸露幼虫与结茧幼虫比较,裸露幼虫的总糖含量随季节变化较大,而结茧幼虫的总糖含量相对比

较稳定。这说明裸露幼虫的生理活动易受外界环境条件变化的影响,结茧幼虫则不易受外界环境条件变化的影响。周年系统调查资料表明,在一年中的任何时候都可以看到裸露幼虫与结茧幼虫并存的现象(仵均祥等,2003)。据此推测,裸露幼虫和结茧幼虫是麦红吸浆虫滞育过程中的两种不同存在形式,前者的滞育强度可能较弱,后者的滞育强度较强。而并非前人所报道的裸露幼虫是解除滞育的状态,结茧幼虫是滞育状态的观点。

柞蚕 *Antheraea pernyi* 滞育蛹和非滞育蛹的血淋巴中所含糖类均为海藻糖和葡萄糖,但后者处于极低的水平(陆明贤,1992)。而麦红吸浆虫在土中滞育的绝大部分时间,海藻糖含量一直维持在一个较高的水平。但裸露幼虫的海藻糖含量很低甚至检测不到,这种现象在同期既测定了裸露幼虫,又测定了结茧幼虫海藻糖含量的比较中,表现非常明显。这一方面说明海藻糖是麦红吸浆虫幼虫滞育过程中重要的储藏物质,另一方面也说明海藻糖是一种可溶性二糖,在幼虫体内容易随幼虫的状态而发生变化,进一步证明裸露幼虫是比结茧幼虫滞育强度浅的一种状态的结论。Hayakawa 和 Chino(1982)提出滞育昆虫的糖醇积累型至少可分为两种类型:一类为糖原积累型;另一类为海藻糖积累型。据此推测,麦红吸浆虫滞育期间的糖醇积累型与柞蚕一样,属于海藻糖积累型。

家蚕 *Bombyx mori* 在滞育激素的作用下,成虫脂肪体储存糖原,血淋巴海藻糖水平下降,卵巢内糖原含量增加,糖原储存在处于卵黄合成高峰的卵细胞内。滞育开始时,糖原产生山梨醇和甘油并在整个滞育阶段维持较高水平;滞育终止时,NAD——依赖性的山梨醇脱氢酶活性提高,山梨醇和甘油又被重新转化成糖原,供给发育的胚作为能源(Yaginuma and Yamashita, 1979; Nijmi and Yaginuma, 1992)。在斑蛾 *Zygaena trifolii* 中,滞育幼虫糖原含量是非滞育幼虫的两倍多,糖原是其进入滞育后最重要的能源(Wipking *et al.*, 1995)。但棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 滞育蛹在进入滞育后至解除滞育的过程中,糖原含量逐渐减少(张韵梅,1994)。不同时期的麦红吸浆虫滞育幼虫的糖原含量存在极显著的差异,秋季和春季的幼虫糖原含量明显高于夏季和冬季。这一变化特点似与家蚕滞育期间的糖原变化特点一致,但与斑蛾和棉铃虫不同。一般来说,麦红吸浆虫一年发生一代,以幼虫越夏、越冬,直至翌年春季化蛹羽化。但胡木林和张克斌(1995)及袁锋等

(待发表资料)于室内饲养观察发现,麦红吸浆虫幼虫在夏、秋季有部分化蛹羽化的现象,说明部分个体的滞育型属于越夏滞育型。糖原含量在秋季和春季的上升有可能与麦红吸浆虫滞育幼虫的滞育解除或滞育强度变化有关。

参考文献 (References)

- Barnes HF, 1943. Studies of fluctuations in insect population. X. Prolonged larval life and delayed subsequent emergence of the adult midge. *J. Anim. Ecol.*, 12: 137 - 234.
- Barnes HF, 1952. Studies of fluctuations in insect populations. XI. Further evidence of prolonged larva life in wheat blossom midge. *Ann. Appl. Biol.*, 39(3): 370 - 373.
- Chen JL, Ni HX, 1998. Advance in research on the wheat blossom midge. *Entomological Knowledge*, 35 (4): 240 - 243. [陈巨莲, 倪汉祥, 1998. 小麦吸浆虫研究进展. 昆虫知识, 35(4): 240 - 243]
- Group of Teaching and Researching on Entomology, 1956. A study on the wheat blossom midges. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-Occidentalis*, (1): 29 - 62. [昆虫教研组, 1956. 小麦吸浆虫之研究. 西北农学院学报, (1): 29 - 62]
- Hayakawa Y, Chino H, 1982. Phosphofructokinase as a possible key enzyme regulating glycerol or trehalose accumulation in diapausing insects. *Insect Biochem.*, 12(6): 639 - 642.
- Hu ML, Zhang KB, 1995. A study on diapause of the wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Gehin). *Entomological Knowledge*, 32 (1): 13 - 16. [胡木林, 张克斌, 1995. 麦红吸浆虫滞育习性研究. 昆虫知识, 32(1): 13 - 16]
- Jiang SX, 1993. Researches on difference in matter accumulation between diapausing and non-diapausing *Antheraea pernyi* Guerin. *Sericultural Science*, 19(1): 53 - 56. [姜守星, 1993. 滞育与非滞育柞蚕物质积累差异的研究. 蚕业科学, 19(1): 53 - 56]
- Lu MX, 1992. Effect of temperature and photo-period on dynamics of carbohydrate contents in haemolymph and fatty body of pupa of *Antheraea pernyi*. *Acta Entomologica Sinica*, 35 (1): 1 - 7. [陆明贤, 1992. 柞蚕蛹脂肪体和血淋巴中糖类含量动态的温度和光周期效应. 昆虫学报, 35 (1): 1 - 7]
- Nijimi T, Yaginuma T, 1992. Biosynthesis of NAD-sorbitol dehydrogenase is induced by accumulation at 5°C in diapause eggs of the silkworm, *Bombyx mori*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 102 B(1): 169 - 173.
- Wipking W, Viebahn M, Neumann D, 1995. Oxygen consumption, water, lipid and glycogen content of early and late diapause and non-diapause larvae of the burnet moth *Zygaena trifolii*. *J. Insect Physiol.*, 41(1): 47 - 56.
- Wu KJ, 2002. A consideration about dormancy in relation to diapause in insects. *Entomological Knowledge*, 39 (2): 154 - 156, 160. [吴坤君, 2002. 关于昆虫休眠和滞育的关系之浅见. 昆虫知识, 39 (2): 154 - 156, 160]
- Wu JX, Yuan F, 2002. Change of free anomic acids in larvae of the wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Gehin). In: Li DM, Kang L, Wu JW, Zhang RZ eds. *Advance in Entomology: Proceedings of the 2002' Conference Organized by Entomological Society of China*. Beijing: China Science and Technology Press. 113 - 118. [仵均祥, 袁锋, 2002. 麦红吸浆虫幼虫游离氨基酸变化分析. 见: 李典谟, 康乐, 吴炬文, 张润志主编. 昆虫学创新与发展. 中国昆虫学会 2002 年学术年会论文集. 北京: 中国科学技术出版社. 113 - 118]
- Wu JX, Yuan F, Li YP, 2003. Studies on both larval status and nucleic acid contents of the wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Gehin). *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*, 31(6): 49 - 56. [仵均祥, 袁锋, 李怡萍, 2003. 麦红吸浆虫滞育状态及其核酸含量变化研究. 西北农林科技大学学报, 31(6): 49 - 56]
- Wu JX, Yuan F, Zhang YM, 2001. Changes of fatty acids in larvae of the wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) (Diptera: Cecidomyiidae). *Entomologia Sinica*, 8(4): 315 - 322.
- Yaginuma T, Yamashita O, 1979. NAD-dependent sorbitol dehydrogenase activity in relation to the termination of diapause in eggs of *Bombyx mori*. *Insect Biochem.*, 9: 547 - 553.
- Yang PL, 1959. Studies on the wheat blossom midges and their control. In: Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences ed. *Collected Papers on Entomology*. Beijing: Academic Press. 193 - 221. [杨平澜, 1959. 小麦吸浆虫研究与防治. 见: 中国科学院动物研究所编. 昆虫学集刊. 北京: 科学出版社. 193 - 221]
- Zeng S, 1965. *The Wheat Blossom Midges*. Beijing: Agricultural Press. 1 - 188. [曾省, 1965. 小麦吸浆虫. 北京: 农业出版社. 1 - 188]
- Zhang KB, Xu WX, Hu ML, Guo ZX, Liang DY, 1988. On the resurgence characteristics, causes and countermeasures of wheat midges. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-Occidentalis*, 16 (Suppl.): 1 - 9. [张克斌, 许文贤, 胡木林, 郭宗贤, 梁登莹, 1988. 小麦吸浆虫在关中再度猖獗的特点、成因与对策. 西北农业大学学报, 16 (增): 1 - 9]
- Zhang YM, 1994. Surveys on content changes of fatty acid and glycogen in pupa of boll worm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) during diapause. *Journal of Shandong Agricultural University*, 25(2): 147 - 150. [张韵梅, 1994. 棉铃虫蛹在滞育中脂肪、糖原等生化成分含量变化的研究. 山东农业大学学报, 25(2): 147 - 150]
- Zhu CS, Yuan F, 2002. Plague caused by the wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) in Nanhe County, Hebei Province in 2002. *Plant Protection*, 28(2): 60 - 61. [祝传书, 袁锋, 2002. 河北南和县 2001 年麦红吸浆虫发生成灾. 植物保护, 28(2): 60 - 61]

(责任编辑: 黄玲巧)