

化响应。用亚致死浓度氟虫腈处理后,测定了小菜蛾 3 龄幼虫 24 h 内体内多功能氧化酶、酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶等酶活力的动态变化,分析氟虫腈对小菜蛾解毒酶系的影响,为深入研究小菜蛾的抗性发展机制及其有效治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

实验用小菜蛾为 2004 年 7 月采自福建福州市郊区新店,在室内经过长期培养的敏感品系,培养温度(25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 60% ~ 80%,光周期 L:D = 16:8。成虫用 10% 蜂蜜饲养;幼虫在萝卜苗上取食生长。所有供试虫子均选用发育进度和个体大小一致的小菜蛾 3 龄幼虫。

1.2 试剂

对硝基苯酚、对硝基苯甲醚、还原型辅酶 II (NADPH)、 α -乙酸萘酯(α -NA)、固蓝 RR 盐、二巯基苏糖醇(DTT)、苯基硫脲(PTU)和苯甲基磺酰氟(PMSF)均为进口分装产品;其它试剂均为国产分析纯。

1.3 生物测定方法

参照浸叶法(Idris *et al.*, 2004):将氟虫腈原药(95%纯度)稀释成 6 个浓度梯度,并以清水(含 0.1% 吐温-20)设置空白对照组。将新鲜无污染的甘蓝(*Brassica oleracea*)叶片在系列药液中浸泡 10 s 后取出,室温晾干,将晾干后的叶片放置于培养皿中,并接入 10 头大小一致的 3 龄小菜蛾幼虫。每个浓度重复 3 次。处理后试虫的饲养条件:温度(25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 65% ~ 75%,光照 16 h:黑暗 8 h。统计 24 h 后的死亡率,数据用 SPSS 15.0 软件处理,使用 Probit 回归分析计算 LC_{50} 值和 95% 置信限。

1.4 小菜蛾幼虫的药剂处理

配制 LC_{50} 浓度的氟虫腈药液,将其喷洒于新鲜无农药污染的幼嫩萝卜苗上,室内自然晾干,重复喷洒 3 次,然后接入已饥饿 4 h、大小一致的 3 龄小菜蛾幼虫,依据不同时间梯度,分别于 8、16 和 24 h 挑取仍存活的小菜蛾幼虫,于 -80°C 冰箱保存。以清水和含 0.1% 的吐温溶液作为对照组:用清水、含 0.1% 吐温的溶液分别喷洒于新鲜无农药污染的幼嫩萝卜苗上,室内晾干,重复喷洒 3

次,再分别接入已饥饿了 4 h、大小一致的 3 龄小菜蛾幼虫,依据不同时间梯度,分别于 0、8、16 和 24 h 后挑取出仍存活的小菜蛾幼虫,于 -80°C 冰箱保存,测定其多功能氧化酶、酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶的活性。每个处理 3 次重复。以清水处理为对照组,记为 CK;吐温组和氟虫腈药剂处理组分别记为 Tween 和 Fipronil。

1.5 解毒酶活性的测定方法

1.5.1 多功能氧化酶和酯酶的酶源制备 将 8 头大小一致的小菜蛾 3 龄幼虫置于预冷的研钵,加入 1 mL 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH 7.8,含 1 mmol/L EDTA、1 mmol/L DTT、1 mmol/L PTU、1 mmol/L PMSF)中,冰浴匀浆,12 000 r/min,4 $^{\circ}\text{C}$,离心 10 min,取出上清液再次离心 30 min,所得上清液作为酶源(Li *et al.*, 2006),进行蛋白质定量。

蛋白质样品定量方法参照 Bradford 法(Bradford, 1976),以牛血清白蛋白(BSA)为参照蛋白。

1.5.2 多功能氧化酶(mixed-function oxidase, MFO)活性的测定 参考 Li 等(2006)的方法并加以改进。在 96 孔酶标板中加入 100 μL 2 $\mu\text{mol/L}$ 对硝基苯甲醚、10 μL 9.6 mmol/L NADPH 和 90 μL 酶液。用酶标仪在 405 nm 波长下,每隔 25 s 记录 1 次光密度值,记录 26 次,酶促反应阶段温度为 30 $^{\circ}\text{C}$,以反应初速度值表示酶活($\Delta\text{OD}_{405\text{nm}} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{protein}$)。

1.5.3 酯酶(esterase, EST)活性的测定 参考黄水金等(2007)方法,在 96 孔板中加入 200 μL 底物与显色剂混合液(含 10 mmol/L α -NA 和 1 mmol/L 固蓝 RR 盐的 0.2 mol/L pH6.0 的磷酸缓冲液),再加入 20 μL 酶液。用酶标仪在 450 nm 波长下,每隔 30 s 记录 1 次光密度值,记录 20 次,酶促反应阶段温度为 27 $^{\circ}\text{C}$,以反应初速度值表示酶活力($\Delta\text{OD}_{450\text{nm}} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{protein}$)。

1.5.4 谷胱甘肽 S-转移酶(glutathione S-transferase, GST)活性的测定 将 8 头小菜蛾的 3 龄幼虫置于预冷的研钵中,加入 1 mL ddH₂O,冰浴匀浆,匀浆液 3 600 r/min,4 $^{\circ}\text{C}$ 离心 15 min,取上清液作为酶源。酶活测定采用南京建成生物工程研究所的谷胱甘肽 S-转移酶(GST)测定试剂盒。其原理为 GST 具有催化还原型谷胱甘肽(GSH)与 1-氯-2,4-二硝基苯(CDNB)结合的能力,在一

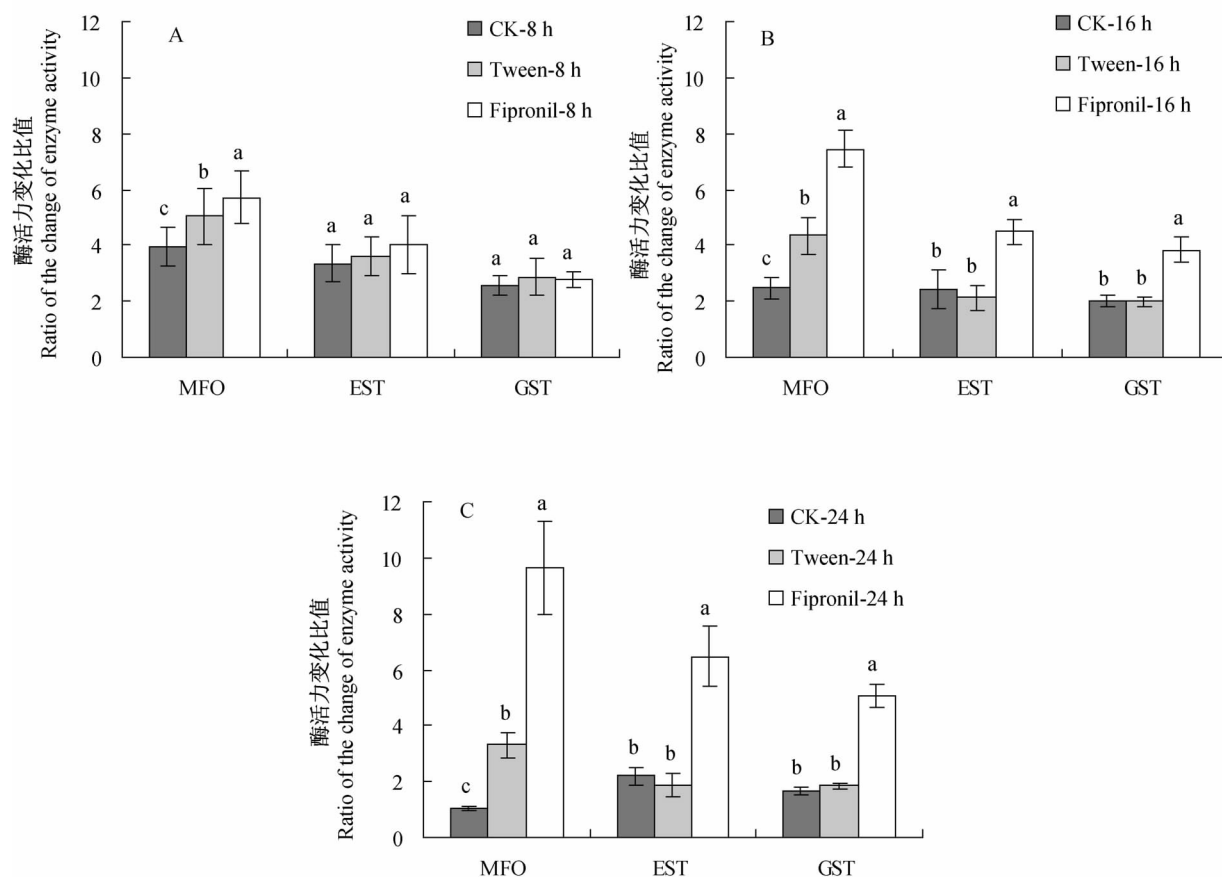


图1 氟虫腈对小菜蛾解毒酶活性的影响

Fig. 1 Effects of fipronil on the detoxifying enzyme activities in *Plutella xylostella*

A: 8 h 时氟虫腈对小菜蛾解毒酶活性的影响; B: 16 h 时氟虫腈对小菜蛾解毒酶活性的影响; C: 24 h 时氟虫腈对小菜蛾解毒酶活性的影响。

图中数值为 3 次试验平均值 $\pm$ 标准误。不同字母表示同一时间段不同处理组之间的差异显著 (Duncan 检测, $P < 0.05$)。

A: Effect of fipronil on the detoxifying enzyme activities in *Plutella xylostella* at 8 h after treatment;

B: Effect of fipronil on the detoxifying enzyme activities in *Plutella xylostella* at 16 h after treatment;

C: Effects of fipronil on the detoxifying enzyme activities in *Plutella xylostella* at 24 h after treatment.

Each bar represents the mean $\pm$ SE of the three independent experiments. Histograms followed by different letters indicate significantly different at 0.05 level (Duncan's multiple range test) at the same time by different treated.

定反应时间内,其活性的高低与反应前后底物浓度的变化呈线性关系,因而通过检测 GSH 浓度的高低来反映 GST 活力的大小。以每毫克蛋白,在 37℃ 反应 1 min 使反应体系中 GSH 浓度降低 1 $\mu\text{mol/L}$ 为一个酶活力单位 ($\mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ protein)。

1.6 数据处理

采用 SPSS 15.0 统计分析软件对试验数据进行差异显著性分析,采用 Duncan 氏新复极差法处

理平均值之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 氟虫腈对小菜蛾的毒力

氟虫腈对敏感品系小菜蛾 3 龄幼虫的毒力测定,由 SPSS 15.0 软件分析生测数据得出, LC_{50} 为 0.237 mg/L, 95% 置信值为 0.171 ~ 0.359 mg/L, 卡方检验显著水平为 0.989 ($P > 0.15$)。

2.2 氟虫腈对小菜蛾幼虫解毒酶活性的影响

氟虫腈致死中浓度 (LC_{50}) 处理对小菜蛾幼虫体内主要解毒酶的诱导作用如图 1 所示,图 1 中酶的活力变化均是与管理 0 h 的酶活力进行比较后的比值。

由图 1 可看出,在处理 8 h,氟虫腈处理组的 EST 和 GST 酶活力与清水组、吐温组之间没有显著差异,说明在处理初期,杀虫剂对 EST 和 GST 2 种酶并没有显著影响;但此时,MFO 在对照组和处理组之间表现出差异,氟虫腈处理组显著升高,同时吐温组的 MFO 也表现出与清水组的显著差异。在 16 和 24 h 时,氟虫腈对 EST 和 GST 酶活力的诱导作用开始体现,氟虫腈处理组 EST 和 GST 酶活力快速上升,表现出与对照组的显著差异,而清水组和吐温组之间并没有差异;MFO 在氟虫腈处理组中继续表现为受诱导活力提高,在 16 和 24 h 时都与对照组表现出显著差异,同为对照的清水组和吐温组之间也表现出显著差异,吐温也同样影响了 MFO 的活力。总体上,MFO 的活力受氟虫腈处理的诱导影响较 EST 和 GST 大。

在 3 个处理组中,MFO、EST 和 GST 的酶活力随着处理时间的变化而变化(图 2)。从图 2 可见,在清水组和吐温溶液中,MFO、EST 和 GST 的酶活力变化趋势基本一致,随着小菜蛾取食食物后,体内这 3 种酶的活力都会表现出一个上升的过程,基本在 8 h 时达到了一个最高值。而随着消化作用的进行,酶活力逐渐下降,基本恢复到取食前的水平,即处理后 24 h 的酶活力与 0 h 的酶活力无显著差异。而在氟虫腈处理组中,随着取食行为的进行,3 种酶活力均逐渐上升,随着处理时间延长,酶活力也不断提高。而 MFO 的酶活力变化的表现与 EST、GST 酶活力变化略有不同。从图 2 可以看出,在吐温组中,虽然 MFO 的活性的变化趋势与清水组是一致的,但是总体上,吐温组的 MFO 活力在处理 8 h 后每个时期都高于清水组,在 8 h 时甚至与氟虫腈处理组的 MFO 活力相当。随着处理时间的增长,吐温组的 MFO 活力也逐渐下降,但氟虫腈处理组中 MFO 的活力仍然进行被诱导升高。

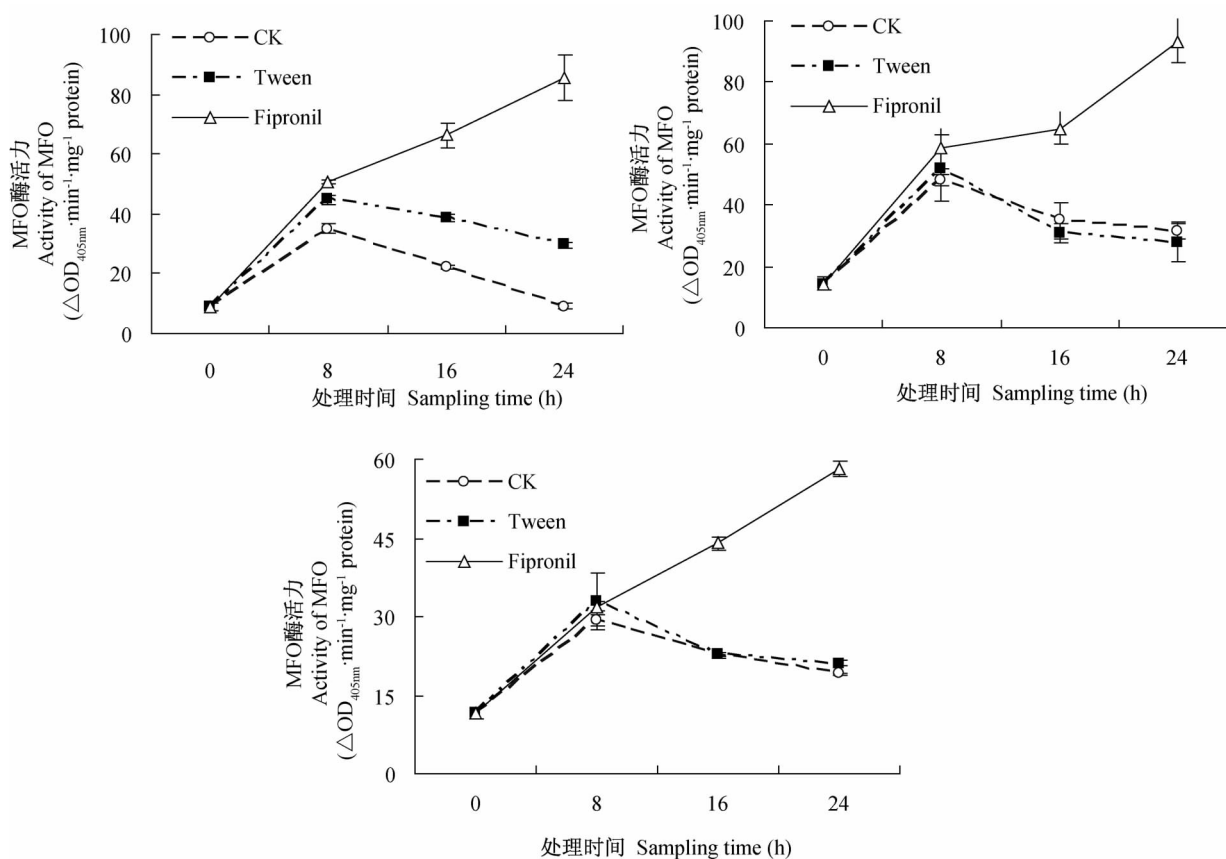


图 2 MFO、EST 和 GST 酶活力随处理时间的变化

Fig. 2 Effects of different treatments on the activities of MFO、EST and GST in *Plutella xylostella*

3 讨论

小菜蛾在取食食物时,体内的酶系会发生相应变化,随着消化时间的增长,小菜蛾体内的酶活力的变化会与其所接触食物的毒性相关。各种解毒酶对化合物的反应强弱可能与化合物的毒性强弱有关,化合物毒性越大,小菜蛾对其的刺激反应越剧烈,表现为解毒酶的活性快速提高,为降解潜在的有毒化合物做准备。随着化合物作用时间的逐渐增长,当所接触的化合物对自身无影响或无毒害作用时,可能小菜蛾体内的解毒酶的活性就会逐渐降低。如果小菜蛾接触到的化合物对自身有毒害作用时,则小菜蛾体内的解毒酶不但会继续发挥其活性,而且还会增强其活性,以期加快对有毒化合物的降解作用,维持自身生命活动的正常进行。本研究中,在处理组中 3 种解毒酶活性均呈上升趋势,处理后 24 h 活性仍高于对照组,3 种解毒酶均参与氟虫腈的代谢,也说明了氟虫腈对这 3 种解毒酶具有诱导作用。

国内外许多研究表明,多功能氧化酶是参与昆虫代谢氟虫腈的关键解毒酶。黄诚华等(2006)用 LC₂₀ 的氟虫腈剂量处理二化螟 *Chilo suppressalis* 和大螟 *Sesamia nferens* 幼虫时,表现出对 2 种螟虫的 MFO 具有一定的抑制作用。对欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis* 的研究表明,氟虫腈在体内氧化为砵是其最主要的代谢途径,而 MFO 参与到了这一过程(Durham *et al.*, 2002),而对玉米根叶甲 *Diabrotica virgifera virgifera* 的研究也表明,MFO 和 GST 对氟虫腈的代谢过程很重要(Scharf *et al.*, 2000)。在本研究中,氟虫腈能够诱导 MFO 活力的提高,表明 MFO 是小菜蛾代谢氟虫腈的关键酶。

酯酶是昆虫体内一种重要的解毒酶系,它能够水解酯类毒性化合物的酯键,或与亲脂类有毒化合物结合,由此降低其有效浓度来降低有毒化合物的毒性。多杀菌素对甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 虫体内 CarE 活性有显著诱导作用(王光峰等, 2003),埃及伊蚊 *Aedes aegypti* 幼虫的酯酶活性也能被残杀威诱导(Riaz *et al.*, 2009),而侯世星等(2010)也发现小菜蛾的 GST 和 CarE 的酶活性并无日节律的显著变化。因此本研究中的酶活力增高,主要是由外源化学物引起的。

谷胱甘肽 S-转移酶是昆虫体用来代谢外源

有毒物质的重要途径,是对杀虫剂代谢中重要的共轭酶系之一,它能使外源的亲电基团与体内性的还原型谷胱甘肽发生共轭代谢,而保护体内其他亲核的中心,如蛋白质和核酸(吕敏等, 2003; Hayes *et al.*, 2005)。Booth 等(2007)用乐果和高效氯氟菊酯处理禾缢管蚜 *Rhopalosiphon padi* 和褐蛉 *Micromus tasmaniae*, GST 并无显著影响。Rumpf 等(1997)用氯氟菊酯亚致死剂量处理褐蛉幼虫后,也发现其 GST 活性明显增加,而用苯氧威亚致死剂量处理后 GST 活性却明显降低,而同样 2 种药剂处理草蛉 *Chrysoperla carnea*, GST 则无明显变化。梁沛等(2003)的研究则表明用亚致死浓度的阿维菌素和高效氯氟菊酯处理对小菜蛾敏感品系的 GST 活性有一定的诱导作用,对抗性品系的 GST 则有一定的抑制作用。这些结果表明亚致死剂量的不同杀虫药剂对不同昆虫的 GST 活性的影响可能存在差异。

在前人研究中(Li *et al.*, 2006; 李超, 2007),虽然 MFO、EST 和 GST 并不是小菜蛾对氟虫腈产生抗性的主要机制,但抗性品系小菜蛾的解毒酶活性均高于敏感品系小菜蛾的解毒酶活性。而本文研究结果表明,从短期响应来看,MFO、EST 和 GST 3 种解毒酶在小菜蛾对氟虫腈的生理响应中均起到了重要的作用,尤其是 MFO,它对外界化合物降解的敏感性更高,很可能影响了氟虫腈对小菜蛾的敏感性。外界化合物都能够引起解毒酶的活性增加,而毒性物质对昆虫体内解毒酶的诱导更为显著。本研究结果表明,吐温溶液处理小菜蛾后,各种解毒酶的活力基本高于清水对照组,但吐温对昆虫没有直接的致毒作用,因此吐温组的总体趋势与清水组一致,而且对于 EST 和 GST 的酶活都没有显著影响。而作为杀虫剂氟虫腈,对小菜蛾的解毒酶活力的诱导作用更加显著,在小菜蛾接触到氟虫腈后,其体内解毒酶活性显著升高。虽然氟虫腈的作用靶标是与昆虫中枢神经细胞膜上的 GABA 受体结合,但本研究表明昆虫体内的解毒酶在对氟虫腈的响应中仍然表现活跃。

小菜蛾有着各种方式对杀虫剂产生抗性,而自身代谢酶对杀虫剂更快速地降解被普遍认为是抗性产生的重要机制(Mohan and Gujar, 2003)。目前,小菜蛾对各种农药都产生了一定的抗性,其对蔬菜和生态环境产生了极其严重的破坏效果,本文从解毒酶系的角度研究了小菜蛾对氟虫腈的

生理响应,更好地了解其生理生化特性,为进一步探讨杀虫剂的生物化学和分子生物学机制提供参考,也能更合理地使用杀虫剂,降低小菜蛾抗药性风险。

致谢:本研究在“农业部亚热带农业生物灾害与治理重点开放实验室”、“福建省高等学校农业生物多样性与生态安全重点实验室”和“福建省昆虫生态重点实验室”完成,同时还得到了福建农林大学应用生态研究所 2007 级硕士生胡磊和 2008 级本科生陈珊的帮助,在此一并表示感谢!

参考文献 (References)

- Booth LH, Wratten SD, Kehrli P, 2007. Effects of reduced rates of two insecticides on enzyme activity and mortality of an aphid and its lacewing predator. *J. Econ. Entomol.*, 100(1):11—19.
- Bradford MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72(1/2):248—254.
- Durham EW, Siegfried BD, Scharf ME, 2002. In vivo and in vitro metabolism of fipronil by larvae of the European corn borer *Ostrinia nubilalis*. *Pest Manag. Sci.*, 58(8):799—804.
- Enayati AA, Ranson H, Hemingway J, 2005. Insect glutathione transferases and insecticide resistance. *Insect Mol. Biol.*, 14(1):3—8.
- 高希武,董向丽,郑炳宗,陈青,1997. 棉铃虫的谷胱甘肽 S-转移酶(GSTs):杀虫药剂和植物次生性物质的诱导与 GST 对杀虫药剂的代谢. *昆虫学报*, 40(2):122—125.
- Hayes JD, Flanagan JU, Jowsey IR, 2005. Glutathione transferases. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.*, 45(1):51—88.
- 侯世星,张少辰,黄维棣,汤宝珍,梁沛,2010. 小菜蛾对毒死蜱敏感性的日节律变化及其机理初探. *农药学报*, 12(2):229—232.
- 黄诚华,姚洪渭,叶恭银,程家安,2006. 氟虫腈亚致死剂量处理对二化螟和大螟幼虫体内解毒酶系活力的影响. *中国水稻科学*, 20(4):447—450.
- 黄水金,秦厚国,江金林,2007. 取食不同食料对斜纹夜蛾后代抗药性的影响. *植物保护*, 33(4):60—64.
- Idris AB, Husaan AK, Siti Hajar MT, 2004. Responses of three strains of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) on *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* and fipronil. *J. Asia-Pacific Entomol.*, 7(1):113—117.
- Li AG, Yang YH, Wu SW, Li C, Wu YD, 2006. Investigation of resistance mechanisms to fipronil in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.*, 99(3):914—919.
- 李超,2007. 小菜蛾对氟虫腈的抗性遗传方式、交互抗性及其抗性机理. 硕士学位论文. 南京:南京农业大学.
- 梁沛,夏冰,石泰,高希武,2003. 阿维菌素和高效氯氟菊酯亚致死剂量对小菜蛾谷胱甘肽 S-转移酶的影响. *中国农业大学学报*, 8(3):65—68.
- 吕敏,刘惠霞,吴文君,2003. 谷胱甘肽 S-转移酶与昆虫抗药性的关系. *昆虫知识*, 40(3):204—207,228.
- Mohan M, Gujar GT, 2003. Local variation in susceptibility of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) to insecticides and role of detoxification enzymes. *Crop Prot.*, 22(3):495—504.
- Riaz MA, Poupardin R, Reynaud S, Strode C, Ranson H., David JP, 2009. Impact of glyphosate and benzo[a]pyrene on the tolerance of mosquito larvae to chemical insecticides. Role of detoxification genes in response to xenobiotics. *Aquat. Toxicol.*, 93(1):61—69.
- Rumpf S, Hetzel F, Frampton C, 1997. Lacewings (Neuroptera: Hemerobiidae and Chrysopidae) and integrated pest management: enzyme activity as biomarker of sublethal insecticide exposure. *J. Econ. Entomol.*, 90(1):102—108.
- Scharf ME, Siegfried BD, Meinke LJ, Chandler LD, 2000. Fipronil metabolism, oxidative sulfone formation and toxicity among organophosphate- and carbamate-resistant and susceptible western corn rootworm populations. *Pest Manag. Sci.*, 56(9):757—766.
- Takeda T, Nakamatsu Y, Tanaka T, 2006. Parasitization by *Cotesia plutellae* enhances detoxifying enzyme activity in *Plutella xylostella*. *Pestic. Biochem. Phys.*, 86(1):15—22.
- Talekar N, Shelton A, 1993. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.*, 38(1):275—301.
- 王光峰,张友军,柏连阳,吴青君,徐宝云,朱国仁,2003. 多杀菌素对甜菜夜蛾多酚氧化酶和羧酸酯酶的影响. *农药学报*, 5(2):40—46.
- Zhao X, Salgado VL, 2010. The role of GABA and glutamate receptors in susceptibility and resistance to chloride channel blocker insecticides. *Pestic. Biochem. Phys.*, 97(2):153—160.

扶桑绵粉蚧寄生性天敌班氏跳小蜂生物学研究^{*}

黄玲^{1**} 刘慧² 肖铁光^{1***} 周社文³

(1. 湖南农业大学生物安全技术学院 长沙 410128; 2. 全国农业技术推广总站 北京 100125;

3. 湖南省植保植检站 长沙 410005)

摘 要 本文对扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley 的重要天敌班氏跳小蜂 *Aenasius bambawalei* Hayat (膜翅目:跳小蜂科)的雌雄形态特征、发育起点温度和有效积温、在长沙地区的理论发生代数进行了研究。结果表明:班氏跳小蜂是扶桑绵粉蚧若虫—成虫期寄生蜂;在 28℃ 下,班氏跳小蜂一代的历期为 17.8 d;成虫、卵、幼虫和蛹的发育起点温度分别为:14.42、15.29、14.89、15.18℃,发生一代的发育起点温度为 14.62℃;成虫、卵、幼虫和蛹的有效积温分别为 87.92、9.74、68.41、75.84 日·度,发生一代的有效积温为 249.92 日·度;由此预测班氏跳小蜂在长沙地区一年可发生 9 代。

关键词 班氏跳小蜂, 扶桑绵粉蚧, 发育起点温度, 有效积温

Biology of *Aenasius bambawalei*

HUANG Ling^{1**} LIU Hui² XIAO Tie-Guang^{1***} ZHOU She-Wen³

(1. Biological & Safety Institute of Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. National Agricultural Technology Center, Beijing 100125, China;

3. Plant Protection & Quarantine Station Hunan, Changsha 410005, China)

Abstract This paper reports the results of a preliminary study on the morphological and biological characteristics, developmental threshold temperature of each life-stage, developmental threshold temperature, effective accumulated temperature and generation occurrence time of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae), in Chasha, China. The results show that the developmental duration of *A. bambawalei* is reduced to 17.8 d at 28℃. Developmental threshold temperatures of adults, eggs, larvae and pupae were 14.42, 15.29, 14.89 and 15.18℃, respectively. The effective accumulated temperature of adults, eggs, larvae and pupae was 87.92, 9.74, 68.41 and 75.84 day-degrees, respectively. Nine generations occurred in Chasha annually. These results provide a theoretical basis for the use of *A. bambawalei* as a biological control for *Phenacoccus solenopsis* Tinsley.

Key words *Aenasius bambawalei*, *Phenacoccus solenopsis*, developmental threshold temperature, effective accumulated temperature

2008 年在广东发现的新检疫性害虫——扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Tinsley, 1898; Cockerell, 1902) (半翅目:粉蚧科)给我国的棉花带来巨大的经济损失。据报道,扶桑绵粉蚧的寄主在巴基斯坦就有 18 科 55 种之多 (Abbas *et al.*, 2005), 而且扶桑绵粉蚧繁殖量大, 单头雌性成虫平均产卵在 600 ~ 700 粒, 种群迅速增长, 世代重叠严重。但在巴基斯坦和印度, 很少有天敌

可以控制该虫 (王厚振等, 1999; Hodgson *et al.*, 2008)。扶桑绵粉蚧寄生蜂是中国新记录种 (陈华燕等, 2010), 对扶桑绵粉蚧有控防作用, 经 Hayat (2009) 鉴定该种寄生蜂为班氏跳小蜂 *Aenasius bambawalei* Hayat。目前国内外有关班氏跳小蜂的报道较少。

本文研究了班氏跳小蜂的生物学特性, 旨在充分利用该天敌优势种, 有效控制扶桑绵粉蚧

* 资助项目:农业部农技中心“扶桑绵粉蚧检测及防控技术研究”项目。

**E-mail: huangling_er@163.com

***通讯作者, E-mail: tieguang@21cn.com

收稿日期: 2011-04-14, 接受日期: 2011-05-20

的危害,为我国经济作物的生产安全提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验条件:中兴伟业光照培养箱 5 台;韶光人工智能培养箱 5 台;Laica application v3.6 显微镜;湘农杂棉 68 F₂ 代。

试验材料:班氏跳小蜂来源于湖南农业大学试验基地的苍耳植株上,用蜂蜜饲养,并寄生扶桑绵粉蚧得以保存虫源——班氏跳小蜂。

1.2 方法

1.2.1 形态特征 采用 Laica application v3.6 显微照相系统对班氏跳小蜂的雌雄形态特征进行比较分析。

1.2.2 生物学特性 试验设定 4 组温区(18 ± 1)℃、(22 ± 1)℃、(25 ± 1)℃、(28 ± 1)℃,观察记录班氏跳小蜂不同虫态的发育历期。

1.2.3 对扶桑绵粉蚧龄期的寄生选择 取不同虫态(卵、若虫、成虫)扶桑绵粉蚧 50 头,每组接入交配后待产卵的班氏跳小蜂 3 头,每日将新产下的扶桑绵粉蚧卵、1 龄若虫挑出,将卵、1 龄若虫接在其它干净的棉苗上,与其母体所在株对应饲养。在设定温度为(22 ± 1)℃,RH 75% 的光照培养箱中进行。

1.2.4 发育起点温度及有效积温 利用班氏跳小蜂各虫态的发育历期,应用直接法(李典谟和王莽莽,1986)计算寄生蜂各虫态的发育起点温度和有效积温。根据李典谟和王莽莽(1986)提出以算得的理论有效积温和实验得到的有效积温的误差极小为目标的目标函数,用极值理论直接求得发育起点温度,试验利用班氏跳小蜂各虫态的历期,运用李典谟和王莽莽(1986)的直接法计算班氏跳小蜂的发育起点温度和有效积温:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n T_i D_i^2 - \bar{D} \sum_{i=1}^n T_i D_i}{\sum_{i=1}^n D_i^2 - n(\bar{D})^2} \quad (1.1)$$

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n T_i D_i - C \sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (1.2)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \quad (1.3)$$

式中:C:发育起点温度;K:有效积温;T:温度;D:发育天数。

1.2.5 班氏跳小蜂理论发生代数 根据班氏跳小蜂完成一代所需发育起点温度和有效积温,计算湖南省长沙地区班氏跳小蜂一年理论发生的代数,其公式为:

$$\text{班氏跳小蜂理论代数} = \frac{\text{当地全年有效积温(总K)}}{\text{完成一个世代所需的有效积温}} \quad (1.4)$$

1.3 数据处理和统计分析方法

利用统计软件 DPS 数据处理软件对各实验内容所得数据进行统计分析,获得平均值及标准误。对不同处理间的差异进行单因素方差分析(One Way ANOVA)和 Duncan 氏多重比较(P < 0.05)。

2 结果与分析

2.1 形态特征

班氏跳小蜂的雌雄在形态上有一定差异,主要表现在触角结构和个体大小方面。试验采用 Laica application v3.6 显微照相系统,(目镜:10×,物镜:2.0×)。

雌虫(图1):头长 0.176 mm,宽 0.213 mm,体黑色有金属光泽,前胸背板有蓝色闪光,触角基节黑色,柄节红褐色,梗节部分黄褐色,棒节深褐色,触角柄节、梗节较细,鞭节显著膨大,前胸背板长 0.087 mm,宽 0.192 mm,中胸盾片、三角片为黑色倒三角形;腹长 0.107 mm,宽 0.198 mm;足黑色,胫节、跗节黄色。中足和后足胫节有距,其中中足距长 0.040 mm,后足距较短,足跗节 5 节,具有跗爪。前后翅膜质,翅有金属光泽,翅脉极为简洁,前翅长 0.335 mm,后翅长 0.232 mm,产卵器不突出或微突出。

雄虫(图2):体黑色有金属光泽,头长 0.158 mm,宽 0.178 mm,胸、腹背板有蓝色闪光,前胸背板长 0.113 mm,宽 0.186 mm,触角黑色,足黑色,胫节、跗节黄色。触角深棕色至黑色,柄节腹面有白色条纹,梗节细长,鞭节十分发达,长大;中胸盾片为黑色倒三角形;腹长 0.080 mm,宽 0.155 mm;中足和后足胫节有距,其中中足距长 0.038 mm,后足胫节距较短,足跗节 1 节或 5 节,分节不明显。具有跗爪。前翅长 0.304 mm,后翅长 0.203 mm。前后翅膜质,翅透明,翅脉简单。



图 1 雌虫
Fig. 1 Female *Aenasius bambawalei*

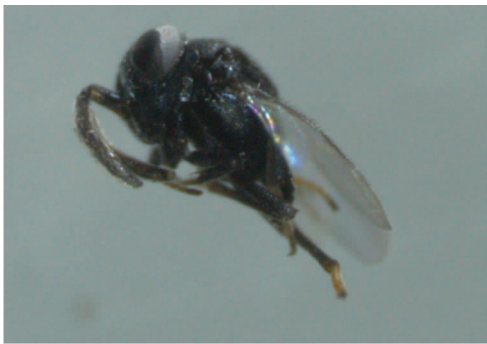


图 2 雄虫
Fig. 2 Male *Aenasius bambawalei*

2.2 发育历期

在 4 种不同温度条件下,观察记录班氏跳小蜂从卵—幼虫—蛹—成虫各虫态的历期(表 1)。结果表明:随着温度的升高,班氏跳小蜂各虫态的历期均呈下降的趋势。在 18℃ 条件下,班氏跳小蜂发生一代的历期最长,可达到 70.8 d,这就有利于保存寄生蜂种源;28℃ 条件下,班氏跳小蜂发生一代历期最短。

2.3 发育起点温度与有效积温

班氏跳小蜂发育起点温度与有效积温测定结果(表 2)表明:班氏跳小蜂完成一代所需的发育起点温度为 14.62℃,完成一代的有效积温为 249.92 日·度;班氏跳小蜂成虫期的发育起点温度最低,为 14.42℃,卵期完成发育所需的有效积温最低为 9.74 日·度。

表 1 不同温度条件下班氏跳小蜂发育历期(长沙,2010)

Table 1 Developmental period of <i>Aenasius bambawalei</i> under different temperatures(Changsha, 2010)					
不同温度(℃)	卵期(d)	幼虫期(d)	蛹期(d)	成虫期(d)	一代历期(d)
Temperature	Egg stage	Larval stage	Pupal stage	Adult stage	Generation stage
18	3.3 ± 0.58a	21.0 ± 3.00a	25.5 ± 3.00a	21.0 ± 1.15a	70.8 ± 1.73a
22	1.6 ± 0.58b	10.7 ± 1.53b	12.8 ± 1.16b	14.0 ± 2.00b	38.0 ± 2.00b
25	1.2 ± 0.58b	5.3 ± 0.58c	7.5 ± 0.58c	9.3 ± 0.58c	23.3 ± 0.58c
28	0.6 ± 0.29b	6.0 ± 1.00c	5.5 ± 0.58c	5.3 ± 0.58d	17.8 ± 2.25d

注:表中数据为平均数 ± 标准误,每列数据后标有不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。
Date are mean ± SE, and followed by different letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level.

表 2 班氏跳小蜂发育起点温度与有效积温(长沙,2010)

Table 2 Development zero and effective accumulated temperature of <i>Aenasius bambawalei</i> (Changsha, 2010)					
发育阶段	卵期	幼虫期	蛹期	成虫期	一代
Tevelopmental stage	Egg stage	Larval stage	Pupal stage	Adult stage	Generation stage
发育起点(℃)					
Developmental threshold temperature	15.29 ± 0.69	14.89 ± 1.13	15.18 ± 0.75	14.42 ± 0.77	14.62 ± 1.23
有效积温(日·度)					
Effective accumulated temperature	9.74 ± 0.52	68.41 ± 2.32	75.84 ± 1.95	87.92 ± 2.76	249.92 ± 3.79

注:表中数据为平均数 ± 标准误。
Date are mean ± SE.