

氰氟虫腙亚致死剂量对甜菜夜蛾生长发育和繁殖力的影响^{*}

马凤娟 李永丹^{**} 高希武^{**}

(中国农业大学农学与生物技术学院 北京 100193)

摘 要 本文研究了氰氟虫腙的亚致死剂量 LC_{15} (28.423 $\mu\text{g/mL}$) 和 LC_{25} (41.363 $\mu\text{g/mL}$) 对甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 亲代和子 1 代的一些生物学特性的影响。结果表明: LC_{15} 和 LC_{25} 处理组与对照组相比, 甜菜夜蛾亲代的化蛹率, 羽化率和单雌产卵量分别降低了 49.3%, 60.0%; ♀ (12.65%, 25.09%) 和 ♂ (13.14%, 28.91%); 25.6%, 65.7%, 畸形蛹率分别提高了 10.5%, 14.4%。子 1 代的化蛹率, 羽化率和单雌产卵量分别降低了 11.8%, 24.6%; ♀ (9.48%, 21.54%) 和 ♂ (11.61%, 24.08%); 14.4%, 54.3%, 畸形蛹率分别提高了 4.1%, 5.8%。另外子 1 代的孵化率、幼虫的存活率降低, 蛹期和成虫期缩短, 产卵前期延长, 产卵期显著缩短。总体来说, LC_{15} 和 LC_{25} 剂量的氰氟虫腙对甜菜夜蛾亲代与子 1 代的生物特性都有不同程度的影响, 并且 LC_{25} 剂量对甜菜夜蛾的影响要比 LC_{15} 剂量大。

关键词 氰氟虫腙, 甜菜夜蛾, 亚致死剂量, 生长发育, 繁殖力

Sublethal effects of metaflumizone on the development and reproduction of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*

MA Feng-Juan LI Yong-Dan^{**} GAO Xi-Wu^{**}

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract The effects of sublethal concentrations of metaflumizone, topically applied for 96 h at LC_{15} (28.423 $\mu\text{g/mL}$) and LC_{25} (41.363 $\mu\text{g/mL}$), on the biological characteristics of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner), were investigated in parental and F1 generations. The results show that the pupation rate, emergence rate and total number of eggs laid by one female in both generations were significantly lower in the LC_{15} or LC_{25} groups than in the control group. The proportion of unhealthy pupae in the LC_{15} or LC_{25} groups increased by 10.5% and 14.4% respectively in the parental generation, and by 4.1% and 5.8% respectively in the F1 generations. In addition, compared to the control group, hatching and survival rates and duration of the pupal and adult stages were reduced in the F1 generation. In addition, the adult preoviposition period was extended and the female reproductive period significantly shortened. The biological characteristics of both the parental and F1 generations were adversely affected when parental larvae were exposed to LC_{15} or LC_{25} doses of metaflumizone. Generally, the sublethal effect of the LC_{25} dose was more significant than that of LC_{15} treatment.

Key words *Spodoptera exigua*, sublethal doses, metaflumizone, development, reproduction

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 又名贪夜蛾, 属鳞翅目, 夜蛾科昆虫 (苏建亚, 1998)。甜菜夜蛾属多食性昆虫, 据报道其可取食 138 种植物, 其中大田作物 28 种, 蔬菜 32 种, 对蔬菜危害

尤其严重 (周传金和徐学芹, 1993)。从北纬 40 ~ 57° 到南纬 35 ~ 40° 之间分布广泛, 是一种世界性分布的重要农业害虫 (章士美和赵泳祥, 1996)。自 20 世纪 80 年代后, 甜菜夜蛾在中国发生危害

^{*} 资助项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (973 计划) (2009CB119200)、公益性行业 (农业) 科研专项 (200903033)。

^{**} 通讯作者, E-mail: liyongdan@cau.edu.cn; gaowu@263.net.cn

收稿日期: 2012-01-01, 接受日期: 2012-03-02

范围逐渐扩大,目前危害全国多达 20 多个省市,成灾的频率高,危害也日益严重(戴淑慧和杨亚萍,1993;江幸福,1998)。至今,甜菜夜蛾已经成为制约中国农牧业生产可持续发展的一种重要害虫(李建勋等,2008)。长期以来,对该虫的防治主要依靠化学农药,频繁用药造成该虫抗药性越来越高,因此筛选高效低毒防效持久的新型农药对其治理有重要意义。

氰氟虫腙(metaflumizone;商品名:艾法迪)(24% SC)是德国巴斯夫公司和日本农药公司联合推出一种全新化合物,属缩氨基类杀虫剂(李鑫,2007)。氰氟虫腙作用于昆虫神经细胞膜上的钠离子通道,通过阻断钠离子在神经细胞膜的传导而导致昆虫麻痹,几个小时后,害虫停止取食,1~3 d 死亡,是一种新型的钠通道阻滞剂杀虫剂(李鑫,2007;Salgado and Hayashi, 2007;单炜力等,2009)。氰氟虫腙的作用方式主要是胃毒作用,与现有的各类杀虫剂没有交互抗性(单炜力等,2009),可以有效地防治各种鳞翅目害虫幼虫及某些鞘翅目的幼虫和成虫(Takagi *et al.*, 2007),并且对环境以及非靶标生物安全,因此适合用于病虫害综合防治和虫害的抗性治理。目前已在国内登记,可以用于防治蔬菜上的小菜蛾和甜菜夜蛾。

氰氟虫腙防治农业害虫的研究,目前仅处于室内毒力测定(韩文素等,2010)及田间药效试验阶段(马红明和咎红,2008;赵阳等,2009),毒理研究较少,氰氟虫腙亚致死剂量对甜菜夜蛾影响的研究,国内外尚未见报道。亚致死剂量的杀虫剂可以导致昆虫的各种生物学特性,甚至于抗药性产生不同程度的改变(Nemoto, 1993;Wang *et al.*, 2009;Perveen, 2000;王贻莲等,2006;张天澍等,2010)。本文首次通过构建生命表,研究了氰氟虫腙亚致死剂量对甜菜夜蛾的生长发育和繁殖力的影响,为该药剂在甜菜夜蛾持续治理中的应用提供方法和理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2009 年 3 月底从河北农科院引进的甜菜夜蛾蛹,在室内以人工饲料。连续饲养至今,未接触过任何农药。

1.2 饲养条件

养虫室条件控制,温度控制在 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度为 70%~80%,光照条件 14 h/10 h(光暗比)。室内每周用紫外光灭菌一次,每次 30 min。饲养所用的毛笔、摄子、瓷盘等工具采用高温水煮消毒。指形管用高压灭菌锅在 240℃ 条件下灭菌 30 min。室内保持清洁卫生,有感病的幼虫及时清除并消毒。将初孵幼虫用毛笔挑入加入人工饲料指形管内,2 头一管饲养,直至化蛹,掏出的蛹放入铁丝网养虫笼中,羽化交配产卵,笼中培养皿内放沾有复合维生素加 10% 糖水的脱脂棉供成虫补充营养,在笼中吊挂硫酸纸供成虫产卵,每天将有卵的硫酸纸用 0.2%~0.3% 的次氯酸钠消毒后取出晾干,放入保鲜袋中,扎好待卵孵化。

1.3 供试药剂

240 g/L 氰氟虫腙由德国巴斯夫公司提供,曲拉通(TritonX-100)由国药集团化学试剂有限公司提供。

1.4 供试方法

1.4.1 生物活性测定和亚致死剂量的确定 采用叶片药膜法测定氰氟虫腙对甜菜夜蛾的生物活性。用 0.05% 的 TritonX-100 配制所需的氰氟虫腙 6 个系列浓度;以不含氰氟虫腙的 0.05% 的 TritonX-100 作为对照。将新鲜圆白菜叶片浸入药液 10 s(Wang *et al.*, 2006)后取出,室温晾干。用直径为 2 cm 的打孔器从叶片上取大小均匀的叶片置于十孔饲养盒,每孔一头大小一致的 3 龄幼虫。然后置于养虫室内。每个处理 20 头试虫,3 个重复,96 h 检查结果。使用 POLO 软件处理结果,确定 LC_{15} 和 LC_{25} 值。

1.4.2 氰氟虫腙亚致死剂量对亲代甜菜夜蛾生长发育的影响 用 0.05% 的 TritonX-100 配制所需氰氟虫腙 LC_{15} 和 LC_{25} 的浓度,对照为不含氰氟虫腙的 0.05% 的 TritonX-100。将洗干净的新鲜圆白菜叶片浸入对照和处理 10 s,室温晾干。将处理后叶片放入直接为 7 cm 的塑料平皿中,每个平皿接入 10 头大小一致的 3 龄幼虫。每个处理 100 头 3 龄幼虫,设 3 个重复。然后置于养虫室内。待 96 h 后将活虫接入装有饲料的指形管内,待其化蛹。将蛹雌雄分开,对 2 日龄蛹每头称重,将其平均值作为蛹质量,待其羽化,记录羽化率。将同日羽化的雌雄成虫放入一次性透明塑料口杯中,口杯壁供其产卵。矿泉水瓶盖内加盛复合维生素

加 10% 糖水的脱脂棉,放入杯中供其营养。开口处用纱布封口。每日换干净的口杯和营养液,记录每日单雌产卵量,成虫死亡数和性别。15 对成虫为一个处理,每个处理设置 3 个重复 (Yin *et al.*, 2008)。

1.4.3 氰氟虫腙亚致死剂量处理亲代甜菜夜蛾对子 1 代的影响 每个处理抽取 600 个卵作为子代进行研究,200 个卵一个重复,共 3 个重复。初孵幼虫挑入新鲜饲料内,直至化蛹。记录各个发育历期和各龄期存活率,蛹雌雄分开,按 1.4.2 方法称蛹质量,饲养成虫,记录产卵量,成虫死亡率和性别。

1.5 数据统计分析

采用 EXCEL, POLO 软件和 SPSS11.0 软件的 Compare Means One-way ANOVA 过程分析。

2 结果与分析

2.1 生物测定结果及亚致死剂量的确定

氰氟虫腙对甜菜夜蛾处理 96 h 后的 LC_{50} 剂量为 83.226 $\mu\text{g/mL}$, LC_{15} 和 LC_{25} 剂量分别为 28.423 $\mu\text{g/mL}$ 和 41.363 $\mu\text{g/mL}$ 。当用 LC_{15} 和 LC_{25} 处理

甜菜夜蛾 3 龄幼虫时,实际死亡率为 16.12% 和 24.56%,这表明选取这 2 个浓度作为此项研究是合理的。

2.2 氰氟虫腙亚致死剂量对甜菜夜蛾亲代发育繁殖的影响

氰氟虫腙亚致死剂量处理甜菜夜蛾 3 龄幼虫后,对亲代的化蛹率、畸形蛹率、蛹质量、羽化率和单雌产卵量进行了比较。从表 1 可以看出, LC_{15} 和 LC_{25} 处理组的化蛹率、雌雄虫羽化率、单雌产卵量分别显著低于对照组,且 LC_{15} 和 LC_{25} 处理组之间差异显著, LC_{15} 和 LC_{25} 化蛹率分别比对照组低 49.33% 和 60.00% ($P < 0.001$),雌虫羽化率和雄虫羽化率分别比对照组低 12.65%, 25.09% ($P < 0.001$) 和 13.14%, 28.91% ($P = 0.001$),单雌产卵量分别是对照组的 74.44% 和 34.26%。 LC_{15} 和 LC_{25} 处理组的畸形蛹率显著高于对照组,但处理组之间差异不显著。处理组与对照组的雌蛹质量之间差异不显著。而 LC_{25} 处理组的雄蛹质量与对照组之间差异显著, LC_{15} 与对照组之间雄蛹质量没有显著性差异。

表 1 氰氟虫腙亚致死剂量对甜菜夜蛾亲代发育繁殖的影响

Table 1 Sublethal effects of metaflumizone on the development and reproduction of parent *Spodoptera exigua*

	化蛹率 (%) Pupation rate (%)	畸形蛹率 (%) Unhealthy pupa rate (%)	蛹质量♀ (mg) Pupa weight ♀ (mg)	蛹质量♂ (mg) Pupa weight ♂ (mg)	羽化率♀ (%) Emergence rate ♀ (%)	羽化率♂ (%) Emergence rate ♂ (%)	单雌产卵量 (粒) Number of the eggs laid by one female adult
CK	83.83 ± 0.73a	3.98 ± 0.44b	112.87 ± 2.28a	101.80 ± 1.59a	82.91 ± 1.43a	79.51 ± 1.21a	938.33 ± 29.87a
LC_{15}	34.50 ± 1.26b	14.44 ± 2.00a	100.57 ± 7.90a	99.10 ± 4.28ab	70.26 ± 0.81b	66.37 ± 3.76b	698.53 ± 23.08b
LC_{25}	23.83 ± 3.35c	18.42 ± 1.66a	94.90 ± 4.20a	90.93 ± 1.72b	57.82 ± 1.28c	50.60 ± 1.91c	321.43 ± 66.42c
<i>P</i>	<0.001	0.001	0.127	0.078	<0.001	0.001	<0.001
<i>F</i>	231.02	24.03	2.97	4.03	108.80	32.63	49.71
<i>df</i>	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6

注:采用 SPSS11.0 软件的 Compare Means One-way ANOVA 过程分析,同列数据后标有不同字母表示差异显著 ($P \leq 0.05$)。Means followed by the different letters within the same column indicate significantly different ($P \leq 0.05$; Compare Means One-way ANOVA)。

2.3 亚致死剂量氰氟虫腙处理亲代对甜菜夜蛾子 1 代的亚致死效应

2.3.1 亚致死剂量氰氟虫腙处理亲代对甜菜夜蛾子 1 代各生长历期存活率的影响 如图 1 所示,对照组, LC_{15} 和 LC_{25} 处理的子 1 代个生长历期

的存活趋势相似,3 组的存活率从卵到成虫都呈现下降趋势,并且从卵到 1 龄历期的死亡率最大。

2.3.2 亚致死剂量氰氟虫腙处理亲代对甜菜夜蛾子 1 代的生长历期的影响 亚致死剂量氰氟虫腙处理亲代后对甜菜夜蛾子 1 代卵期、幼虫期、雌

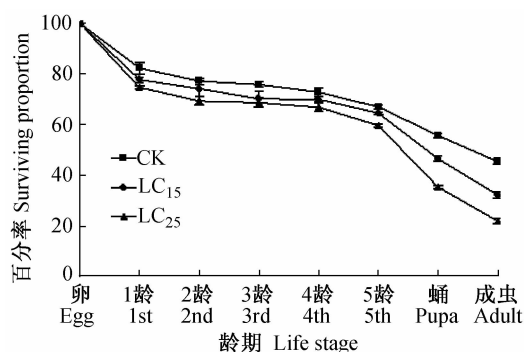


图1 不同处理组中子1代各龄期存活率

Fig.1 Survival of beet armyworm, *Spodoptera exigua* offspring in different treatment groups

成虫期、雄成虫期和产卵期影响很大,处理组子代与对照组子代间存在显著差异(表2,卵: $P = 0.004$, $F = 15.608$;幼虫期: $P = 0.002$, $F = 21.000$;雌成虫期: $P < 0.001$, $F = 79.196$;雄成虫期: $P = 0.001$, $F = 27.597$;产卵期: $P < 0.001$, $F = 62.762$)。卵期,幼虫期随着药剂浓度的增加而显著增长,LC₁₅和LC₂₅的子代的卵期分别比对照组增长0.22和0.39 d,幼虫期分别比对照组长1和2 d。雌雄成虫期以及雌虫产卵期却随着药剂量的增加而显著缩短,LC₁₅和LC₂₅的子代的雌成虫期分别比对照组缩短1.02和2.03 d,雄成虫期分别比对照组缩短1.11和1.70 d,雌虫产卵期分别比对照组短1.15和2.26 d。雄虫总历期随着药剂量的增加而增加,对照组和LC₁₅以及处理组之间没有显著性差异,但对照组与LC₂₅之间有显著性差异。蛹期随着药剂量的增加而变短,但处理组与对照组之间差异不显著。亚致死剂量处理后对子代的雌虫总历期和产卵前期影响不大。

2.3.3 氰氟虫腙亚致死剂量处理亲代对甜菜夜蛾子1代的发育繁殖的影响 对氰氟虫腙亚致死剂量处理后的甜菜夜蛾子1代的孵化率、化蛹率、蛹质量、羽化率和单雌产卵量进行了比较。如表3所示,LC₁₅和LC₂₅处理组的化蛹率、雌虫羽化率、雄虫羽化率、单雌产卵量显著降低,分别降低了11.75%, 24.63%; 9.48%, 21.54%; 11.61%, 24.08%; 14.45%, 54.31%,且处理组之间差异显著。LC₁₅和LC₂₅处理组的畸形蛹率显著升高,分别升高4.12%和5.77%,且处理组之间差异显著。雌蛹质量随药剂增加而减轻,LC₁₅处理组与对照组

没有显著差异,LC₂₅处理组与对照组差异显著,雄虫处理组与对照组之间没有显著差异。

3 小结与讨论

氰氟虫腙的亚致死剂量LC₁₅(28.423 $\mu\text{g/mL}$)和LC₂₅(41.363 $\mu\text{g/mL}$)对处理后的甜菜夜蛾亲代与子1代都有显著的影响。LC₁₅和LC₂₅处理组与对照组相比,亲代及子1代的化蛹率显著降低,亲代的化蛹率分别降低了49.3%和60.0%,子1代的化蛹率分别降低了11.8%和24.6%。畸形蛹率显著提高,亲代的畸形蛹率分别提高10.5%和14.4%;子1代的畸形蛹率分别提高4.1%和5.8%。羽化率也相应降低。这表明,LC₁₅和LC₂₅剂量的氰氟虫腙能显著地降低甜菜夜蛾的种群数量,使大部分个体死于幼虫期,尤其是预蛹期,干扰预蛹顺利化蛹。同时可以看出,氰氟虫腙对甜菜夜蛾的影响亲代大于子1代,这可能与昆虫的生长慢,慢代谢分解药物残留有关(Yin *et al.*, 2008)。并且这种防治作用随着氰氟虫腙浓度的增加而增大。

与对照组相比,LC₁₅和LC₂₅处理组甜菜夜蛾子1代的各个生长历期的死亡率增加,从卵到1龄历期的死亡率最大,其次是5龄到蛹期,并且成虫期缩短,产卵前期延长,导致产卵期显著缩短,减少产卵量,LC₁₅和LC₂₅处理组亲代的单雌产卵量分别降低了25.6%和65.7%;子1代的单雌产卵量,分别降低了14.4%和54.3%。表明氰氟虫腙不但能增加甜菜夜蛾子1代的死亡率,还能缩短子1代甜菜夜蛾成虫寿命,从而明显抑制了甜菜夜蛾的产卵量。这种防治作用同样随着氰氟虫腙浓度的增加而增大。

通过本实验研究,氰氟虫腙对甜菜夜蛾的生长发育和繁殖有一定的亚致死效应,能明显降低化蛹率和羽化率,提高畸形蛹率,缩短成虫寿命,降低产卵量,而且防治作用可以延续到子1代。从长远的角度看,可能会比传统的高效急性毒性药剂对甜菜夜蛾的综合治理更有利。但是本实验也只是单纯的就氰氟虫腙处理后的甜菜夜蛾亲代和子1代进行了研究,对氰氟虫腙对甜菜夜蛾的亚致死效应评估,还需要对其子2代及更多代更深层次的研究。

Table 2 Sublethal effects of metaflumizone applied to parent *Spodoptera exigua* on the growth period-time of offspringTable 3 Sublethal effects of metaflumizone applied to parent *Spodoptera exigua* on the development and reproduction of offspring[illegible]

参考文献 (References)

- Nemoto H, 1993. Mechanism of resurgence of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Jpn. Agr. Res. Q.*, 27(1):27—32.
- Perveen F, 2000. Sublethal effects of chlorfluazuron on reproductivity and viability of *Spodoptera litura* (F.) (Lep., Noctuidae). *J. Appl. Entomol.*, 124(5/6):223—231.
- Salgado VL, Hayashi JH, 2007. Metaflumizone is a novel sodium channel blocker insecticide. *Vet. Parasitol.*, 150(3):182—189.
- Takagi K, Hamaguchi H, Nishimatsu T, Konno T, 2007. Discovery of metaflumizone, a novel semicarbazone insecticide. *Vet. Parasitol.*, 150(3):117—181.
- Wang D, Gong PY, Li M, Qiu XH, Wang KY, 2009. Sublethal effects of spinosad on survival, growth and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Manag. Sci.*, 65(2):223—227.
- Wang W, Mo JC, Cheng JA, Zhuang PJ, Tang ZH, 2006. Selection and characterization of spinosad resistance in *Spodoptera exigua* (Hübner). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 84(3):180—187.
- Yin XH, Wu QJ, Li XF, Zhang YJ, Xu BY, 2008. Sublethal effects of spinosad on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Crop Prot.*, 27(10):1385—1391.
- 戴淑慧, 杨亚萍, 1993. 甜菜夜蛾的生物学特性及防治. 植物保护, 19(2):20—21.
- 韩文素, 张树发, 沈福英, 张红杰, 高希武, 2010. 氰氟虫腈 S C 对阿维菌素抗性种群和敏感种群的小菜蛾室内毒力测定及田间药效分析. 河北北方学院报, 26(3):35—38.
- 江幸福, 1998. 甜菜夜蛾在我国的发生为害及防治概况. 农资科技, 6:8—10.
- 李建勋, 李娟, 程伟霞, 刘雅丽, 刘怀, 王进军, 2008. 甜菜夜蛾成虫生物学特性研究. 中国农学通报, 24(5):318—322.
- 李鑫, 2007. 新型杀虫剂氰氟虫腈. 农药, 46(11):774—776.
- 马红明, 咎红, 2008. 艾法迪悬浮剂防治甜菜夜蛾田间药效试验. 长江蔬菜, 14:71—72.
- 单伟力, 姜宜飞, 王国联, 周志强, 2009. 氰氟虫腈原药高效液相色谱分析. 农药, 7:500—501.
- 苏建亚, 1998. 甜菜夜蛾的迁飞及在我国的发生. 昆虫知识, 3(1):55—57.
- 王贻莲, 司升云, 汪钟信, 望勇, 周利琳, 2006. 虫酰肼对甜菜夜蛾子代种群的影响. 植物保护学报, 33(2):193—196.
- 张天澍, 王冬生, 袁永达, 滕海媛, 谢定伯, 彭睿智, 2010. 甲氧虫酰肼对甜菜夜蛾生长繁殖的亚致死效应. 长江蔬菜(学术报), (18):90—92.
- 章士美, 赵泳祥, 1996. 中国农林昆虫地理分布. 北京: 农业出版社. 260—261.
- 赵阳, 秦吉洋, 吴庭友, 2009. 艾法迪防治水稻纵卷叶螟药效试验. 现代农业科技, 17:131—131 转 134.
- 周传金, 徐学芹, 1993. 甜菜夜蛾的生物学特性及防治研究. 中国甜菜, (1):24—27.