

苯甲酰脲类杀虫剂对亚洲玉米螟 生长发育和繁殖的效用^{*}

游 灵 田生荣 刘 伟 魏洪义^{**} 王广利

(江西农业大学农学院 南昌 330045)

摘 要 为全面评价苯甲酰脲类(BPUs)杀虫剂对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 的持续控制作用, 采用叶片浸渍法, 测定氟啶脲、除虫脲、氟铃脲和虱螨脲对亚洲玉米螟生长发育和繁殖的影响。结果表明, 经4种BPUs处理后, 亚洲玉米螟存活幼虫的历期延长了2.4~4.3 d, 平均单头雌、雄蛹重分别减轻了10.3~13.2 mg和0~7.7 mg, 幼虫化蛹率和成虫交配成功率分别下降了14.1%~43.3%和5.6%~25.6%, 产卵量降低了25.5%~53.3%, 但卵孵化率没有明显改变。亚洲玉米螟雌、雄蛾吸食蔗糖水药液后, 成虫寿命增加了1.3~4.3 d, 产卵量下降40.3%~58.2%, 卵孵化率降低了32.9%~64.3%, F_1 代幼虫死亡率是对照组的3.5~8.5倍, 表明苯甲酰脲类杀虫剂显著抑制了亚洲玉米螟幼虫生长发育和成虫的繁殖力。

关键词 亚洲玉米螟, 苯甲酰脲类杀虫剂, 生长发育, 繁殖

Effects of benzoylphenylurea insecticides on the development and reproduction of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*

YOU Ling TIAN Sheng-Rong LIU Wei WEI Hong-Yi^{**} WANG Guang-Li

(College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract To comprehensively evaluate the sustainability of benzoylphenylurea insecticides (BPUs) in controlling the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée), the effects of chlorfluazuron, diflubenzuron, hexaflumuron and lufenuron, on the development and fecundity of *O. furnacalis* were tested by leaf immersion. The results show that survival and larval duration were prolonged by 2.4-4.3 days, average female and male pupa weight decreased by 10.3-13.2 mg and by 0-7.7 mg, respectively, pupation rate and copulation success were reduced by 14.1%-43.3% and 5.6%-25.6%, respectively, and eggs laid per female were reduced by 25.5%-53.3%. However, the hatching rate did not significantly change after first instar larvae were treated with BPUs. The life span of adults fed with sugar solution containing BPUs increased by 1.3-4.3 days but their oviposition and hatching rates decreased by 40.3%-58.2% and by 32.9%-64.3%, respectively. The larval mortality of the F_1 generation of surviving adults was 3.5-8.5-fold higher than that of control moths fed on sugar water only. These results indicate that BPUs significantly inhibit larval development and adult fecundity in *O. furnacalis*.

Key words *Ostrinia furnacalis*, benzoylphenylurea insecticides, development, reproduction

亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 属鳞翅目螟蛾科, 是我国玉米、高粱、谷子等作物的重要害虫。亚洲玉米螟危害春玉米一般年份减产10%左右, 大发生年份可减产30%以上(王志春等, 2008)。

虽然目前防治亚洲玉米螟以拟除虫菊酯或有机磷类杀虫剂为主(刘宏伟等, 2005), 而此类药剂对环境污染较大, 且在防治害虫的同时会杀伤天敌和非靶标生物, 不利于害虫的综合治理。昆虫生长调节

* 资助项目: 国家自然科学基金(30971909, 30460075)、教育部留学回国人员科技启动基金(2010-609-38)和植物病虫害生物学国家重点实验室开放基金(SK120100P19)。

** 通讯作者, E-mail: hyiwei@yahoo.com.cn

收稿日期: 2011-10-08, 接受日期: 2011-12-05

剂 (insect growth regulator) 的发现则为害虫防治提供了新的思路,这类药剂通过扰乱昆虫的生理机能,如影响昆虫脱皮、发育变态及干扰生殖机能等,最终达到控制害虫的目的 (Staal, 1975; Dhaddialla *et al.*, 1998),因而被称为无公害农药。目前根据昆虫生长调节剂的作用方式以及化学结构的不同可分为几丁质合成抑制剂 (chitin synthesis inhibitors, CSI)、蜕皮激素及其类似物 (moulting hormone analog, MHA) 和保幼激素及其类似物 (juvenile hormone analog, JHA) 3 大类。

苯甲酰脲类杀虫剂 (benzoylphenylurea insecticides, BPU) 为 CSI 类药剂,以胃毒作用为主,触杀作用差,多用于植食性害虫的防治 (Matsumura, 2010)。刘瑞林等 (1981) 研究显示,亚洲玉米螟对低浓度灭幼脲 I 号有较高的敏感性;谭六谦 (1986) 用苏脲 I 号处理亚洲玉米螟 3 d 后的死亡率达 98.7%,在田间 2.5% 灭幼脲 3 号颗粒剂对亚洲玉米螟也具有较好的防治效果 (梁树廉等, 1987);沈国清等 (1997) 也发现克幼脲对低龄玉米螟幼虫有较高的生物活性,并讨论了用氟铃脲作为甲胺磷的替代杀虫剂防治亚洲玉米螟的可能性 (赵任飞, 2010)。Boiteau 和 Noronha (2007) 测定了双苯氟脲 (novaluron) 对欧洲玉米螟的毒力,发现该药剂虽然对欧洲玉米螟的触杀效果不佳,但具有一定的杀卵作用。

米娜等 (2009) 认为,尽管 BPU 的速效性不如有机磷杀虫剂等神经毒剂,但可通过干扰昆虫表皮的沉积并抑制其几丁质的生物合成,导致蛹和成虫畸形。BPU 杀虫剂在杀灭害虫的同时,还能影响存活个体的生殖行为 (Haynes, 1988; Desneux *et al.*, 2007)。目前国内外尚未见关于 BPU 杀虫剂持续控制亚洲玉米螟的研究报道,为全面评价该类药剂对亚洲玉米螟的抑制作用,本研究探讨了氟啶脲、除虫脲、氟铃脲和虱螨脲 4 种 BPU 杀虫剂对亚洲玉米螟生长发育及繁殖的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

亚洲玉米螟: 采自江西农业大学科技园玉米地。参照周大荣等 (1980) 方法,在温度 (25 ± 1) °C、相对湿度 60% ~ 70%、光周期 L:D = 14:10 的温室条件下用人工饲料进行连续饲养。

药剂: 氟啶脲 (chlorfluazuron), 纯度 97%, 山

东田丰生物科技有限公司; 除虫脲 (diflubenzuron), 纯度 96%, 江苏禾业农化有限公司; 氟铃脲 (hexaflumuron), 纯度 95%, 扬州远华化工有限公司; 虱螨脲 (lufenuron), 纯度 95%, 瑞士先正达作物保护有限公司。

1.2 方法

1.2.1 对幼虫的药剂处理 采用叶片浸渍法。测试前从玉米 (玉农晶糯) 上采集玉米心叶,并用眼科小剪刀剪成长 4 cm、宽 2.5 cm 的小叶片。供试药剂分别用丙醇充分溶解,然后用蒸馏水稀释成 0.5 ~ 100 mg/L 等 7 个不同浓度梯度,将玉米叶片在不同浓度的药液中浸渍 10 s,每浓度处理 5 片叶片,取出晾干表面水分后放入垫有保湿滤纸的干净培养皿中,每皿接入生长一致的亚洲玉米螟 1 龄幼虫 (孵化后 48 h) 30 头,每浓度处理 3 次重复,以蒸馏水为对照。药剂处理后置于温度 (25 ± 1) °C、相对湿度 60% ~ 70%、光周期 L:D = 14:10 的养虫室中,72 h 后统计幼虫死亡数,触动身体后不能协调运动者视为死亡个体。利用 SPSS 软件进行数据统计并计算各药剂 LC_{30} , 氟啶脲、除虫脲、氟铃脲、虱螨脲 LC_{30} 分别为 5.0、73.9、2.1 和 2.7 mg/L。用各药剂 LC_{30} 处理亚洲玉米螟 1 龄幼虫 100 头,重复 4 次。处理后 72 h 将存活幼虫接入亚洲玉米螟人工饲料中继续饲养。每种药剂按上述方法另扩大处理 1 000 头幼虫,以便补充虫源和避免存活个体雌雄比例不均衡。检查记录存活幼虫的化蛹时间、化蛹数、雌雄蛹重及羽化数,计算幼虫发育历期、化蛹率和羽化率。

成虫羽化后,将存活成虫和对照成虫组成 4 种组合,以观察药剂对亚洲玉米螟交配的影响。即药剂处理后的存活雌蛾 (药剂雌蛾) × 药剂处理后的存活雄蛾 (药剂雄蛾)、药剂雌蛾 × 对照雄蛾、对照雌蛾 × 药剂雄蛾、对照雌蛾 × 对照雄蛾。在暗期开始前 2 h,将不同处理的单个雄蛾引入装有 1 头相应处理雌蛾的 200 mL 塑料杯中进行配对,然后置于温度 (25 ± 1) °C、相对湿度 60% ~ 70%、光周期 L:D = 14:10 的暗室内。当暗期结束后,取出雌蛾,解剖其内部生殖系统中的交配囊。如果交配囊中有精包及精包柄,说明该雌蛾已受精,否则为未受精。每组合处理 30 对成虫,重复 3 次。

观察产卵量时,雌、雄蛾配对组合和处理方法与交配率试验相同。自产卵之日起至雌蛾死亡,

每日更换塑料杯并将当日产下的卵块剪下放入垫有保湿滤纸的培养皿中,记录每日的产卵数及孵化数,并将孵化幼虫清除,直到卵块不再孵化,计算产卵量和幼虫孵化率。每组合处理 20 对成虫,重复 3 次。

1.2.2 成虫的药剂处理 将当天羽化的雌、雄成虫分别放入倒置在培养皿上的 200 mL 塑料杯中。经试验前预处理,用 10% 的蔗糖水稀释的 10 000 倍药液使玉米螟成虫的死亡率在 10% ~ 30% 之间,故用脱脂棉蘸取含有稀释 10 000 倍药液的糖水饲喂成虫 2 d,以不含药剂的 10% 蔗糖水作为对照。每种药剂处理雌、雄蛾各 15 头,每处理 4 次重复。处理后 48 h,将雌、雄成虫配对放入倒置的塑料杯中,观察其交配产卵情况。

自产卵之日起至成蛾死亡,每日更换塑料杯并将当日产下的卵块剪下放入垫有保湿滤纸的培养皿中,统计成虫寿命,记录每日的产卵数及孵化数。并选取其中初孵幼虫 90 头,分成 3 组放入培养皿中用 1.3 中所述新鲜玉米小叶片饲养,2 d 后检查记录幼虫存活数,将存活幼虫接入亚洲玉米螟人工饲料中继续饲养,并记录其发育历期。

1.3 数据统计分析

采用 SPSS 12.0 统计软件进行 ANOVA 方差分析,孵化率、幼虫死亡率、化蛹率、羽化率和交配

成功率均经平方根反正弦转换后再进行计算。

2 结果与分析

2.1 BPU_s 处理亚洲玉米螟幼虫对其存活个体的影响

2.1.1 对生长发育的影响 BPU_s 处理亚洲玉米螟 1 龄幼虫后,对存活幼虫的生长发育产生了明显的抑制作用。存活幼虫的发育历期显著长于对照幼虫,除虫脲、氟啶脲、虱螨脲和氟铃脲处理组的幼虫历期分别比对照组幼虫延长了 2.4、2.7、3.9 和 4.3 d。药剂处理后的蛹重多显著低于对照组,其中雌蛹重以氟铃脲组最轻,为 (89.6 ± 0.7) mg,比对照组下降了 13.2 mg,而虱螨脲组影响相对最小,比对照组雌蛹重减轻 10.3 mg;雄蛹重以氟啶脲组最轻,为 (54.4 ± 0.9) mg,较对照组下降了 7.7 mg,只有除虫脲组的雄蛹重与对照雄蛹相近(表 1)。

亚致死剂量的 BPU_s 还可导致亚洲玉米螟化蛹率显著降低,而羽化率所受影响相对较小(表 1)。在 4 种杀虫剂中,氟铃脲处理的幼虫有 43.3% 的个体不能正常化蛹,10.6% 的蛹不能正常羽化,化蛹率和羽化率均显著低于对照组;除虫脲的抑制作用较小,其幼虫化蛹率(84.2%)仅比对照下降了 14.1%,而羽化率与对照相近。

表 1 亚致死剂量 BPU_s 对亚洲玉米螟幼虫生长发育的抑制作用

Table 1 Inhibition of BPU_s at sublethal doses (LC₃₀) on the larval development of *Ostrinia furnacalis*

处理 Treatment	幼虫历期 (d) Larval duration	蛹重 Pupal weight (mg)		化蛹率 (%) Pupation rate	羽化率 (%) Emergence rate
		雌 Female	雄 Male		
氟啶脲 Chlorfluazuron	29.5 ± 0.2 b	92.0 ± 0.9 bc	54.4 ± 0.9 c	69.2 ± 0.5 c	93.3 ± 2.3 bc
除虫脲 Diflubenzuron	29.2 ± 0.2 b	91.2 ± 0.6 bc	62.1 ± 0.6 a	84.2 ± 1.7 b	97.2 ± 1.0 a
氟铃脲 Hexaflumuron	31.1 ± 0.2 a	89.6 ± 0.7 c	59.5 ± 0.6 b	55.0 ± 0.8 d	89.4 ± 0.5 cd
虱螨脲 Lufenuron	30.7 ± 0.2 a	92.5 ± 0.8 b	54.9 ± 0.6 c	64.2 ± 1.0 cd	87.8 ± 0.9 d
蒸馏水 Distilled water	26.8 ± 0.2 c	102.8 ± 1.5 a	62.1 ± 1.4 a	98.3 ± 4.3 a	96.1 ± 1.8 ab

注:表中数据为平均数 ± 标准误,同列数据后标有相同字母表示经 Duncan 氏多重比较检验在 0.05 水平上差异不显著,下表同。

Data are mean ± SE, and followed by the same letters in the same column indicate no significant difference at 0.05 level by Duncan's new multiple range test. The same below.

2.1.2 对交配成功率的影响 经 BPU 处理后, 对存活下来雌、雄蛾的交配成功率产生了一定的影响。其中, 以虱螨脲和氟铃脲处理组的影响最为明显, 经虱螨脲或氟铃脲处理后的雌蛾和雄蛾的交配成功率最低, 分别仅为 41.1% 和 42.2%, 比对照雌、雄蛾组合分别减少了 25.6% 和 24.5%, 且受药剂处理后存活雌蛾或存活雄蛾与对照成虫

的交配成功率也在 50% 以下, 均显著低于对照雌、雄蛾组合; 除虫脲对存活个体交配率的影响较小, 3 个处理组合的交配成功率与对照均无显著性差异; 在氟啶脲处理中, 雌雄蛾双方或雌蛾单方存活个体的交配成功率均显著低于对照, 而雄蛾单方存活个体的交配成功率与对照相近, 仅比对照减少了 5.6% (图 1)。

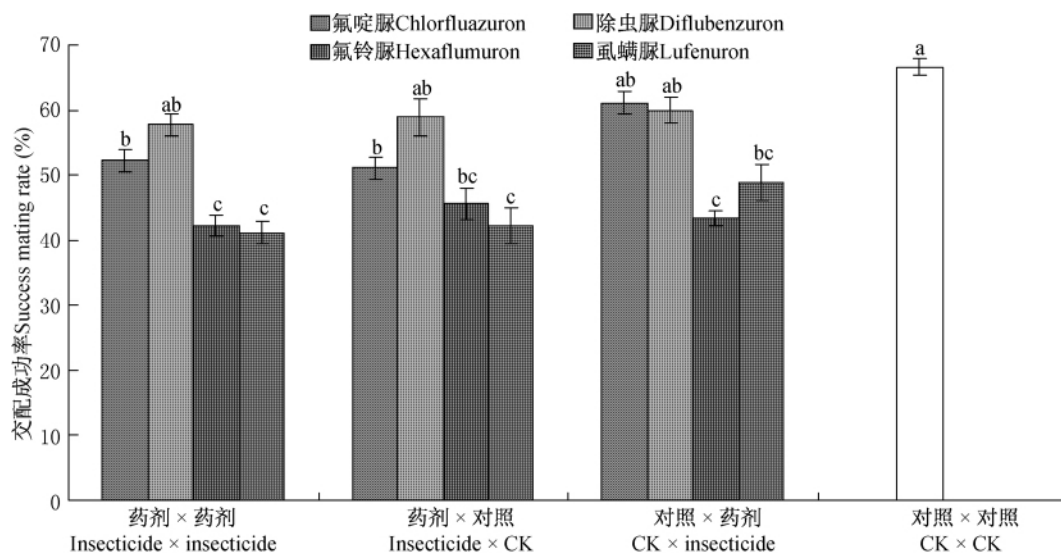


图 1 亚致死剂量 BPU 处理后存活雌、雄蛾的交配成功率

Fig. 1 Mating success rate of male and female *Ostrinia furnacalis* from survival individuals treated with BPU at sublethal doses (LC₃₀)

图中数据为平均数 ± 标准误 (n = 60), 平均值柱上标有不同字母表示经

Duncan 氏多重比较检验在 0.05 水平上差异显著, 下图同。

Data are mean ± SE, (n = 60) in the figure. Histograms with different letters for each insecticide are significant difference at 0.05 level by Duncan's new multiple range test. The same below.

2.1.3 对产卵量及卵孵化率的影响 氟铃脲对成虫产卵量影响最大, 3 个处理组合的平均产卵量仅为 230 ~ 247 粒/雌, 比对照组雌蛾产卵量 (492 粒/雌) 减少了 49.8% ~ 53.3%; 氟啶脲和虱螨脲处理后的雌蛾产卵量相似, 其药剂处理雌、雄蛾组合以及对照雌蛾与药剂处理雄蛾组合的产卵量均不足 300 粒/雌, 均显著少于对照组合; 在除虫脲处理的 3 个组合中, 单雌产卵量为 315 ~ 367 粒, 所受影响相对较小 (图 2), 比对照组减少了 25.5% ~ 36.0%。

4 种 BPU 处理亚洲玉米螟 1 龄幼虫后, 各处理的卵孵化率均在 92% 以上。其中, 氟啶脲和虱螨脲处理组合的卵孵化率在 92.4% ~ 93.9% 之间, 而氟铃脲和除虫脲处理组合的卵孵化率均超

过了 93%, 与对照组合差异不显著。

2.2 亚洲玉米螟成虫取食 BPU 后对其繁殖力的影响

2.2.1 对成虫寿命和繁殖力的影响 用蔗糖水药液喂饲亚洲玉米螟成虫后, 雌蛾产卵量及其卵孵化率均显著下降, 而成虫寿命却普遍延长 (表 2)。其中, 虱螨脲处理雌蛾和氟啶脲处理雄蛾的平均寿命最长, 分别为 17.9 d 和 16.8 d, 较对照成虫分别延长了 4.3 d 和 3.4 d, 氟铃脲处理雌蛾的影响相对最小, 其寿命比对照减少了 1.3 d。氟铃脲处理后的成虫, 其单雌产卵量最少, 为 196.2 粒, 相对对照雌蛾减少了 58.2%, 除虫脲、氟啶脲和虱螨脲组雌蛾比对照雌蛾产卵量分别减少了

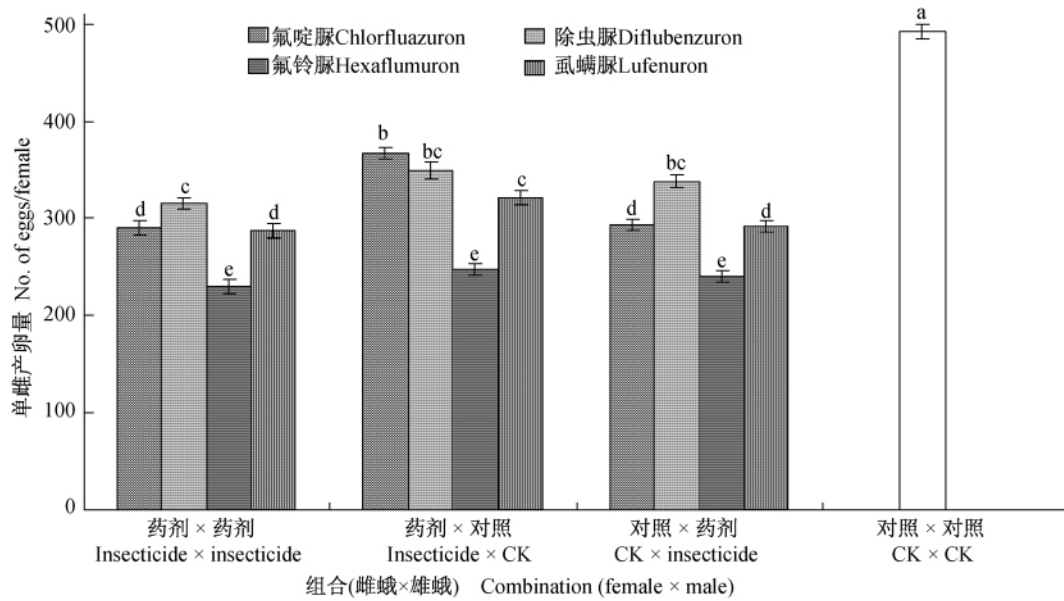


图 2 亚致死剂量 BPU 处理后存活个体组合的平均单雌产卵量

Fig. 2 Average eggs produced by individual female *Ostrinia furnacalis* in the combination of survival moths from the larvae treated with BPUs at sublethal doses (LC_{30})

表 2 亚洲玉米螟成虫取食蔗糖水药液后的寿命与繁殖力

Table 2 Life span and fecundity of adult of *Ostrinia furnacalis* fed with BPUs and sugar water

处理 Treatment	成虫寿命 (d) Life span of moths		产卵量 (粒/雌) Eggs per female	孵化率 (%) Hatching rate
	雌蛾 Female	雄蛾 Male		
氟啶脲 + 蔗糖水 Chlorfluazuron + sugar water	16.6 ± 0.5 b	16.8 ± 0.5 a	243.9 ± 0.5 c	29.6 ± 3.5 d
虱螨脲 + 蔗糖水 Lufenuron + sugar water	17.9 ± 0.5 a	15.0 ± 0.4 b	222.7 ± 12.7 cd	46.2 ± 9.1 c
氟铃脲 + 蔗糖水 Hexaflumuron + sugar water	14.9 ± 0.5 c	15.8 ± 0.4 ab	196.2 ± 12.3 d	53.2 ± 11.1 c
除虫脲 + 蔗糖水 Diflubenzuron + sugar water	17.5 ± 0.4 ab	15.9 ± 0.4 ab	279.8 ± 8.1 b	61.0 ± 6.0 b
蔗糖水 Sugar water	13.6 ± 0.3 d	13.4 ± 0.3 c	468.8 ± 12.5 a	93.9 ± 3.2 a

40.3%、48.0% 和 52.5%；氟啶脲处理雌蛾后所产卵仅 30% 能孵化，比对照组降低了 64.3%，其它 3 种药剂比对照降低了 32.9% ~ 47.7%。

2.2.2 对 F_1 代幼虫存活与生长发育的影响 亚洲玉米螟成虫吸食 BPUs 后，不仅对当代个体的繁殖产生了不利的影响，而且导致下一代幼虫的死亡率明显上升。在 4 种药剂处理中，氟啶脲处理

组的幼虫死亡率高达 63.5%，是对照组 (7.5%) 的 8.5 倍；其次为氟铃脲处理组，为 58.0%；虱螨脲和除虫脲处理组的幼虫死亡率也分别达到 42.0% 和 26.1%，分别是对照组的 5.6 倍和 3.5 倍。杀虫剂对幼虫历期的影响较小，最长幼虫期出现在氟啶脲处理组中，为 (27.5 ± 0.2) d，较对照组的 (26.7 ± 0.2) d 延长了不足 1 d，而除虫脲、氟铃脲

和虱螨脲处理组的幼虫期分别为 (27.0 ± 0.2) d、 (27.1 ± 0.2) d 和 (26.9 ± 0.2) d, 与对照组差异不显著。

3 讨论

本研究结果证明, 氟啶脲等 4 种 BPUs 杀虫剂对亚洲玉米螟生物活性突出, 对其生长发育和成虫的生殖均有较大影响。除具有直接杀死幼虫活性外, 用各药剂 LC_{50} 剂量处理亚洲玉米螟幼虫后, 还能延长幼虫历期、降低蛹重、化蛹率、羽化率和产卵量, 但氟啶脲、除虫脲、氟铃脲和虱螨脲对亚洲玉米螟的生物活性也不尽相同。Sammour 等 (2008) 研究显示, 氟啶脲和虱螨脲处理海灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis* (Boisduval) 5 龄幼虫后, 降低了存活个体的化蛹率、蛹重和羽化率。冯从经等 (2008) 研究结果表明, 亚致死剂量双氧威 (JHA 类药剂) 处理亚洲玉米螟可使幼虫历期延长, 而虫酰肼 (MHA 类药剂) 却缩短玉米螟幼虫历期。本研究中, BPUs 延长了亚洲玉米螟幼虫历期和成虫寿命, 可能是由于这类化合物具有抗蜕皮激素的生物活性 (米娜等, 2009), 具有类似 JHA 类药剂的作用, 干扰了昆虫体内的激素平衡。

通过本研究, 我们发现吸食含有 BPUs 的糖水后的亚洲玉米螟雌虫的腹部变小, 外形近似于雄虫, 其产卵量、卵孵化率降低, 这种现象的产生可能与其胚胎发育受到干扰有关。米娜等 (2009) 综述了这类杀虫剂的作用机理, 认为 BPUs 影响卵的呼吸代谢及胚胎发育过程中的 DNA 和蛋白质代谢, 使卵不能孵化或孵化后随即死亡。Perez-Farinos 等 (1998) 研究也证明, 氟铃脲处理甜菜象虫 *Aubeonymus mariaefrancisciae* Roudier 后, 药剂可以进入卵内, 抑制了胚胎的发育和卵的孵化。黄大庄等 (1998) 用灭幼脲处理桑天牛雌虫, 发现大部分卵内幼虫已基本完成胚胎发育, 但不能孵化而死于卵壳内。Moreira 等 (2007) 发现, 虱螨脲处理埃及伊蚊 *Aedes aegypti* (L.) 后, 能抑制其卵的孵化和幼虫的发育。姚永生等 (2008) 认为, 虱螨脲影响棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 的生育繁殖能力、降低产卵量和孵化率。而传统杀虫剂处理蛾类昆虫后, 虽然存活成蛾交配成功率受到显著影响, 但杀虫剂对产卵量和卵孵化率的影响不明显 (魏洪义等, 2007), 即使用马拉硫磷连续处理亚洲玉米螟 5 个世代, 其产卵量也只减少了

20% ~ 30%, 卵孵化率降低得更少 (万先萌等, 2009)。这是因为有机磷杀虫剂通过抑制乙酰胆碱酯酶活性, 使昆虫的神经持续兴奋, 直到死亡 (张宗炳, 1987), 其作用机制并不涉及昆虫的体壁或卵壳形成。此外, 本研究结果还可应用于亚洲玉米螟的诱集防治, 例如, 将 BPUs 杀虫剂混入蔗糖水中诱集亚洲玉米螟成虫取食, 可降低下一代的田间虫口密度, 减轻其危害。

参考文献 (References)

- Boiteau G, Noronha C, 2007. Topical residual and ovicidal contact toxicity of three reduced-risk insecticides against the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae), on potato. *Pest Manag. Sci.*, 63 (12): 1230—1238.
- Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM, 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annu. Rev. Entomol.*, 52:81—106.
- Dhadialla TS, Carlson GR, Le DP, 1998. New insecticides with ecdysteroidal and juvenile hormone activity. *Annu. Rev. Entomol.*, 43:545—569.
- Haynes KF, 1988. Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. *Annu. Rev. Entomol.*, 33:149—168.
- Matsumura F, 2010. Studies on the action mechanism of benzoylurea insecticides to inhibit the process of chitin synthesis in insects: a review on the status of research activities in the past, the present and the future prospects. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 97 (2):133—139.
- Moreira MF, Dos Santos AS, Marotta HR, Mansura JF, Ramos IB, Machado EA, Souza GHMF, Eberlin MN, Kaiser CR, Kramere KJ, Muthukrishnan S, Vasconcellos AMH, 2007. A chitin-like component in *Aedes aegypti* eggshells, eggs and ovaries. *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 37 (12):1249—1261.
- Perez-Farinos G, Smagghe G, Marco V, Tirry L, Castañera P, 1998. Effects of topical application of hexaflumuron on adult sugar beet weevil, *Aubeonymus mariaefrancisciae*, on embryonic development: pharmacokinetics in adults and embryos. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 61 (3):169—182.
- Sammour EA, Kandil MA, Abdel-Aziz NF, 2008. The reproductive potential and fate of chlorflazuron and leufenuron against cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Boisd.). *American-Eurasian J. Agricult. Environ. Sci.*, 4 (1):62—67.
- Staal GB, 1975. Insect growth regulators with juvenile

- hormone activity. *Annu. Rev. Entomol.*, 20:417—460.
- 冯从经, 陆剑锋, 董秋安, 2008. 亚致死剂量双氧威和虫酰肼对亚洲玉米螟幼虫生长发育的影响. 植物保护学报, 35(2):175—180.
- 黄大庄, 张彦广, 阎浚杰, 1998. 灭幼脲类杀虫剂对桑天牛成虫的作用及其机制. 林业科学, 34(2):115—120.
- 梁树廉, 杨桂华, 石磊, 1987. 灭幼脲防治玉米螟试验. 吉林农业科学, 3:5—9.
- 刘宏伟, 鲁新, 李丽娟, 2005. 我国亚洲玉米螟的防治现状及展望. 玉米科学, 13(增刊):142—147.
- 刘瑞林, 傅鸣实, 王新省, 1981. 昆虫生长调节剂灭幼脲 I 号对玉米螟生长发育的抑制效应. 山西大学学报(自然科学版), 3:5—13.
- 米娜, 王唤, 范志金, 2009. 苯甲酰脲类杀虫剂研究进展. 世界农药, 31(增刊 II):24—26.
- 沈国清, 陈丽芳, 陆自强, 1997. 克幼脲对玉米螟的毒力和药效测定. 植物保护, 23(1):17—19.
- 谭六谦, 1986. 苏脲 I 号对玉米螟幼虫生理效应的研究. 山东农业科学, 1:16—22.
- 万先萌, 刘伟, 魏洪义, 2009. 马拉硫磷对连续 5 代亚洲玉米螟生殖力的影响. 江西农业大学学报, 31(5):862—866.
- 王志春, 钱海涛, 董辉, 2008. 亚洲玉米螟为害程度与产量损失研究. 植物保护, 34(1):112—115.
- 魏洪义, 万先萌, 刘伟, 2007. 杀虫剂对蛾类昆虫生殖行为影响的研究进展. 农药学报, 9(4):317—323.
- 姚永生, 李春芳, 叶花香, 2008. 虱螨脲对棉铃虫实验种群的生物活性研究. 华北农学报, 23(增刊):243—247.
- 张宗炳, 1987. 杀虫药剂的分子毒理学. 北京:农业出版社. 1—383.
- 赵任飞, 2010. 高毒农药替代试验示范——6 种不同药剂防治玉米螟药效试验. 杂粮作物, 30(2):138—139.
- 周大荣, 王玉英, 刘宝兰, 1980. 玉米螟人工大量繁殖研究:I 一种半人工饲料及其改进. 植物保护学报, 7(2):113—122.