

DEF 对大豆蚜羧酸酯酶活性的抑制及其增效作用*

周正堂** 肖 达** 卢 延 李锦钰 董金锦 宋敦伦*** 高希武

(中国农业大学农学与生物技术学院昆虫系 北京 100193)

摘 要 对采自田间的大豆蚜 *Aphis glycines* Matsumura 在室内不接触任何药剂的情况下连续饲养 30 代以上作为被测虫源,研究 DEF(1,2,4-三丁基三硫磷酸酯)不同时间处理大豆蚜后对高效氯氰菊酯等 8 种药剂的增效作用,以及大豆蚜体内羧酸酯酶的活性变化。结果显示,高效氯氰菊酯对经 DEF 处理 10 h 的大豆蚜杀虫活性最高;大豆蚜在经 DEF 预处理 2 h 后其体内羧酸酯酶剩余活性逐步降低,10 h 时活性降到最低值(69.6%),随后逐步升高,到 24 h 时接近未处理前水平;DEF 预处理大豆蚜 10 h 后对 8 种药剂的 LC_{50} 与 DEF 和杀虫剂混用以及与未经 DEF 预处理使用单一药剂测定的 LC_{50} 相比分别为:高效氯氰菊酯(0.294、0.613、0.814 $mg \cdot L^{-1}$),溴氰菊酯(0.047、0.181、0.340 $mg \cdot L^{-1}$),氧化乐果(91.025、144.882、207.999 $mg \cdot L^{-1}$),马拉硫磷(78.212、147.546、141.912 $mg \cdot L^{-1}$),吡虫啉(1.778、7.689、11.876 $mg \cdot L^{-1}$),啶虫脒(0.814、5.931、9.581 $mg \cdot L^{-1}$),灭多威(7.120、19.559、37.335 $mg \cdot L^{-1}$),克百威(11.298、20.957、23.927 $mg \cdot L^{-1}$)。数据表明,DEF 对大豆蚜羧酸酯酶活性的抑制在 10 h 时最强;经 DEF 预处理试虫后 8 种药剂的毒力较未经 DEF 处理和 DEF 与杀虫剂混用时的毒力增加,这一结论为田间增效剂的合理使用和大豆蚜抗性治理提供了技术支持和理论依据。

关键词 大豆蚜,羧酸酯酶,DEF,杀虫剂,增效作用

The effects of pretreatment with S, S, S-tributyl phosphorotrithioate on carboxylesterase activity and susceptibility to eight kinds of insecticides in the soybean aphid, *Aphis glycines*

ZHOU Zheng-Tang** XIAO Da** LU Yan LI Jing-Yu

DONG Jin-Jin SONG Dun-Lun*** GAO Xi-Wu

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

Abstract The effects of exposing aphids to S, S, S-tributyl phosphorotrithioate (DEF) on the effectiveness of eight kinds of insecticides and on aphid carboxylesterase activity, were investigated in *Aphis glycines* (Matsumura). Aphids were collected in the field and reared on soybean seedlings in a laboratory for more than 30 generations. The results show that beta-cypermethrin had the highest insecticidal activity on soybean aphids that had been exposed to DEF for 10 h. The carboxylesterase activity of soybean aphids decreased gradually after exposure to DEF for 2 h, and reached its lowest level, 69.6%, after 10 h. Activity gradually recovered after 24 h. The LC_{50} values of eight insecticides with three treatments; exposure to DEF, pesticides mixed with DEF and pesticides without DEF, were as follows; beta-cypermethrin (0.294, 0.613, 0.814 $mg \cdot L^{-1}$), deltamethrin (0.047, 0.181, 0.340 $mg \cdot L^{-1}$), omethoate (91.025, 144.882, 107.999 $mg \cdot L^{-1}$), malathion (78.212, 147.546, 141.912 $mg \cdot L^{-1}$), imidacloprid (1.778, 7.689, 11.876 $mg \cdot L^{-1}$), acetamiprid (0.814, 5.931, 9.581 $mg \cdot L^{-1}$), methomyl (7.120, 19.559, 37.335 $mg \cdot L^{-1}$) and carbofuran (11.298, 20.957, 23.927 $mg \cdot L^{-1}$). The results suggest that the inhibitory effect of DEF on carboxylesterase was significantly greater in soybean aphids that had been exposed to DEF for 10 h. The pretreatment of soybean aphids with DEF may enhance insecticide activity compared to either using insecticides without such pretreatment, or applying a

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201103022)。

** 对此文章同等贡献

*** 通讯作者, E-mail: songdl@cau.edu.cn

收稿日期:2011-09-15, 接受日期:2011-10-31

mixture of insecticide and DEF. Our results provide a theoretical basis for the chemical control of soybean aphids in the field.

Key words *Aphis glycines*, carboxylesterase, S, S, S-tributyl phosphorotrithioate, insecticides, synergism

大豆蚜 *Aphis glycines* Matsumura 属半翅目 (Hemiptera) 蚜科 (Aphididae), 是我国大豆产区最主要的害虫之一 (马振泉等, 1985; 韩新才, 1997)。大豆蚜在亚洲、非洲以及美洲等地也有分布 (Singh and Van Emden, 1979; 张履鸿, 1993; 翟保平等, 1996; Vanden *et al.*, 1997; 王春荣等, 1998; Macedo *et al.*, 2003)。大豆蚜以成蚜和若蚜集中在豆株顶部的嫩叶或嫩茎上刺吸汁液, 使叶片皱缩。大豆蚜分泌的蜜露可导致大量霉菌发生, 影响植株的光合作用和营养物质的积累 (Chung *et al.*, 1980)。除此之外, 大豆蚜还传播大豆花叶病毒等病害给大豆生产造成很大的经济损失 (尚佑芬等, 1997)。据报道在大豆蚜大发生年份如不及时防治, 轻则减产 20% ~ 30%, 重则减产达 50% 以上 (翟保平等, 1996; 王春荣等, 1998), 北美洲的大田试验结果也表明大豆蚜可造成大豆的严重减产 (Myers *et al.*, 2005)。鉴于大豆蚜发生危害特点, 农业生产中多采用化学防治控制大豆蚜的危害。而不合理的杀虫药剂使用往往会引发大豆蚜的抗药性问题。其中抗药性产生原因之一就是昆虫体内水解代谢酶, 如羧酸酯 (CarE) 活性增强, 增加了对农药的水解代谢作用 (孙小平, 1992)。

增效剂被证实对昆虫代谢具有抑制作用 (Young *et al.*, 2005), 如增效醚 (piperonyl butoxide, PBO) 是多功能氧化酶的专一抑制剂 (Forgash *et al.*, 1962; Perry and Bucknor, 1970; 赵学忠, 1995); DEF 和磷酸三苯酯 (triphenyl phosphate, TPP) 是昆虫水解代谢的抑制剂 (孙小平, 1992)。增效剂由于具有对昆虫解毒代谢的抑制作用, 一方面成为研究昆虫抗药性机制的重要工具, 另一方面在害虫抗药性治理中, 增效剂的添加使用可延长杀虫药剂的使用寿命。目前增效剂已在甜菜夜蛾、棉蚜、棉铃虫和小菜蛾等许多害虫的抗药性治理中得到应用。如异稻瘟净对马拉氧磷, TPP 对久效磷增效作用显著, 有利于减缓棉蚜对久效磷的抗性程度 (高希武等, 1989)。彭梅等 (2006) 采用甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 虫体浸渍法测定了增效剂 PBO 和 TPP 对辛硫磷、顺式氯氰菊酯、虫螨腈的增效作用, 发现 PBO 对顺式氯氰菊

酯、虫螨腈有显著增效作用。

本文研究了增效剂 DEF 对大豆蚜羧酸酯酶活性的抑制作用, 测定了 DEF 对溴氰菊酯等 8 种杀虫剂的增效作用, 为大豆蚜防治及抗药性治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

大豆蚜采自河北廊坊, 在实验室不接触任何药剂的情况下采用新鲜大豆苗连续饲养至少 30 代以上, 饲养条件为: 温度 (25 ± 1) °C, 光照 L:D = 13:11, RH75%。

1.2 供试试剂

α -乙酸萘酯 (α -NA) 上海试剂一厂; 99% 毒扁豆碱 (Eserine) 美国 Aldrich 化学试剂公司; 固蓝 B 盐 (Fast blue B Salt) Sigma 公司, 北京东胜太博科技发展有限公司分装; 十二烷基硫酸钠 (sodium dodecyl sulfate, SDS) 国药集团化学试剂有限公司; DEF 美国 ChemService 公司; 牛血清白蛋白 (bovine serum albumin, BSA) 北京世纪银丰科技发展有限公司; 考马斯亮蓝 G-250 Fluka 公司, 上海化学试剂公司分装; 曲拉通 X-100 (Triton X-100) 国药集团化学试剂有限公司; 琼脂 广州汕头市水产品综合加工厂。

1.3 供试药剂

选用拟除虫菊酯类、有机磷类、氨基甲酸酯类和新烟碱类 4 类共 8 种农药, 各种农药简介见表 1。

1.4 DEF 生物测定

1.4.1 试虫处理 用对大豆蚜最有效但不致死的增效剂 DEF 最大浓度 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 预处理大豆蚜无翅成蚜 1 ~ 24 h, 每 2 h 为一个处理, 以含 0.05% (V/V) TritonX-100 的蒸馏水处理的大豆蚜作为对照。

1.4.2 生物测定方法 生物测定参照 Moores 等 (1996) 的方法改进: 选用高效氯氰菊酯对本实验种群的 LC_{25} 作为待测剂量。用含 0.05% (V/V) TritonX-100 的蒸馏水稀释至所需浓度, 并以含

表 1 供试药剂简介
Table 1 Summary for insecticide tested

	杀虫剂 Insecticide	有效成分含量(%) Active ingredient	生产厂家 Producer
拟除虫菊酯 Pyrethroid	高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	93.0	江苏农药研究所
	溴氰菊酯 Deltamethrin	99.0	江苏扬农化工有限公司
有机磷类 Organophosphate	氧化乐果 Omethoate	76.5	高碑店农药有限公司
	马拉硫磷 Malathion	94.3	天津爱格福有限公司
氨基甲酸酯 Carbamate	灭多威 Methomyl	90.0	江苏常隆化工有限公司
	克百威 Carbofuran	99.9	江苏常隆化工有限公司
新烟碱类 Neonicotinoid	吡虫啉 Imidacloprid	95.3	江苏常隆化工有限公司
	啉虫咪 Acetamiprid	97.0	江苏常隆化工有限公司

0.05% (V/V) TritonX-100 的蒸馏水作为对照。将室内培育未接触过任何药剂和昆虫的大豆叶片,分别浸入稀释好的药液中 15 s,取出晾干。用直径 15 mm 的打孔器打出适合大小的叶片放入生测板中,叶背面朝上,底部加入 1% 的琼脂保湿,每孔接入 DEF 处理的大豆蚜 20 头,每个时间点重复 3 次。置于人工气候箱内,温度(25 ± 1)℃,光照 L:D = 13:11, RH 75%, 24 h 后检查蚜虫的死亡数,用毛笔轻触蚜虫,以只有 1 只足动或完全不动者视为死亡(Moores *et al.*, 1996)。计算每个时间点大豆蚜的校正死亡率。

1.5 DEF 对羧酸酯酶抑制活性的测定

1.5.1 试虫处理 用对大豆蚜最有效但不致死的增效剂 DEF 最大浓度 30 mg · L⁻¹ 预处理大豆蚜无翅成蚜 1~24 h,每 2 h 为一个处理,每个处理 3 次重复,每个重复接虫 40 头。以含 0.05% (V/V) TritonX-100 的蒸馏水处理的大豆蚜作为对照,每 2 h 取样,每 40 头分装入 1.5 mL 离心管中,经液氮处理后置于 -80℃ 保存。

1.5.2 羧酸酯酶比活力测定 CarE 比活力测定参照 Van Asperen (1962) 方法并稍加修改:选用经 DEF 处理的大豆蚜,每 40 头蚜虫加入 1 mL pH 7.0, 0.04 mol · L⁻¹ 冰冷磷酸缓冲液冰上匀浆,4℃,

10 800 r/min 离心 15 min,吸取上清液作为待测酶液。总反应体系为 3.2 mL, 0.04 mol · L⁻¹, pH 7.0 的磷酸缓冲液 450 μL, 3 × 10⁻⁴ mol · L⁻¹ 底物 (3 × 10⁻⁴ mol · L⁻¹ α-NA: 3 × 10⁻⁴ mol · L⁻¹ 毒扁豆碱 = 1V:1V) 1.8 mL 及适当稀释的酶液 50 μL。30℃ 水浴中反应 15 min 后,加入 0.9 mL 显色剂 (1% 固蓝 B 盐: 5% SDS = 2V:5V) 终止反应。静置 15 min 后,测定其在 600 nm 波长下光密度值 OD₆₀₀。

1.5.3 蛋白含量测定 参照 Bradford 考马斯亮蓝 G-250 法 (Bradford, 1976; 宗静等, 1998)。

1.6 8 种药剂生物测定

1.6.1 试虫处理 用对大豆蚜最有效但不致死的增效剂 DEF 最大浓度 30 mg · L⁻¹ 预处理大豆蚜无翅成蚜 10 h,以含 0.05% (V/V) TritonX-100 的蒸馏水处理的大豆蚜作为对照。

1.6.2 生物测定方法 用含 0.05% (V/V) TritonX-100 的蒸馏水将待测药剂稀释成所需的 6 个浓度,方法同 1.4.2。

1.7 数据分析方法 用 SPSS 软件系统中的 Duncan 方法分析 1.4 和 1.5 中不同处理时间的差异显著性 ($P < 0.05$)。用 Polo 软件 (LeOra Software Inc., Cary, NC, USA) 计算 1.6.2 中的 LC₅₀。

2 结果与分析

2.1 DEF 对高效氯氰菊酯的增效作用

由图 1 可见 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ DEF 处理大豆蚜一定时间后,大豆蚜死亡率随时间发生变化。处理时

间在 10 h 前,随着处理时间的增加,高效氯氰菊酯对大豆蚜的杀虫活性逐渐增加,到 10 h 的死亡率达到最大,为 54.23%;处理时间在 8~12 h,死亡率呈显著差异($P < 0.05$);处理时间大于 10 h 后,死亡率又逐渐降低。

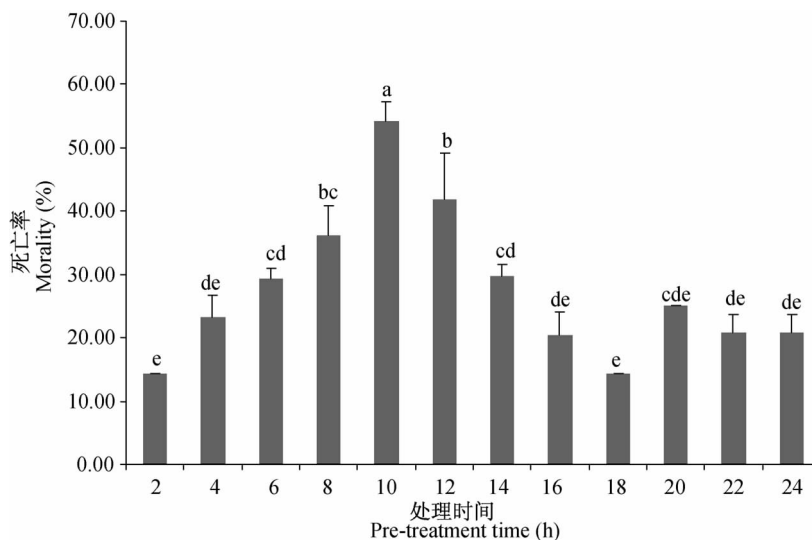


图 1 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ DEF 处理大豆蚜不同时间对高效氯氰菊酯增效活性的影响

Fig. 1 Effect of $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ DEF pre-treatment times on synergism of beta-cypermethrin activity against *Aphis glycines*

图中数据为 SPSS 软件中 Duncan 分析结果。小写字母不同表示在 0.05 水平下具有显著差异。下同。

The data in this figure are analyzed by Duncan in SPSS. Data with different letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 增效剂 DEF 预处理大豆蚜后体内羧酸酯酶活性的动态变化

用 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ DEF 预处理大豆蚜 1~24 h,每 2 h 测定大豆蚜羧酸酯酶活性的变化,得到 DEF 处理对大豆蚜体内羧酸酯酶活性的影响(图 2)。羧酸酯酶活性在处理 2 h 后开始降低,到 10 h 时剩余活性达到最低值,为 65.25%,随后其活性随着时间的增加而升高,24 h 后剩余活性达到 98.8%,接近未处理前水平。处理时间在 8~12 h 时的羧酸酯酶剩余活性与处理 2 h 和 24 h 相比呈显著差异($P < 0.05$)。

2.3 DEF 预处理大豆蚜对 8 种药剂毒力测定的影响

8 种药剂单独使用和与增效剂 DEF 混合使用对大豆蚜的敏感性见表 2。大豆蚜对拟除虫菊酯类杀虫剂高效氯氰菊酯和溴氰菊酯的 LC_{50} 分别为

$0.294, 0.814 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.047, 0.34 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;对有机磷类杀虫剂氧化乐果和马拉硫磷的 LC_{50} 分别为 $91.025, 207.999 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $78.212, 141.912 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;对新烟碱类杀虫剂吡虫啉和啉虫啉的 LC_{50} 分别为 $1.778, 11.876 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.814, 9.581 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;氨基甲酸酯类灭多威和克百威的 LC_{50} 分别为 $7.120, 37.335 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $11.298, 23.927 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

3 讨论

生物测定和增效试验是杀虫剂毒理及抗性研究中常用的方法,尽管生物测定的方法受到环境、试虫生理状况等因素的影响,但由于其具有简易、直观和相对准确的特点,得到广泛的应用。本研究参考了 Chang 等(2010)的方法,在 DEF 预处理试虫时,同时使用含 0.05% (V/V) TritonX-100

表 2 DEF 对大豆蚜 8 种药剂的增效作用
Table 2 Synergism of DEF on eight insecticides in *Aphis glycines*

药剂名称 Insecticide	处理 Treatment	N ^b	斜率 ± 标准误差 Slope ± SE	卡方值 χ^2	LC ₅₀ (95% CL ^c) (mg · L ⁻¹)
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	420	1.191 ± 0.164	4.65	0.814(0.493 – 1.222)
	高效氯氰菊酯 + DEF Beta-cypermethrin + DEF	420	1.297 ± 0.193	4.2	0.613(0.390 – 0.907)
	用 DEF 前处理 Pretreatment with DEF ^a	420	1.527 ± 0.231	2.15	0.294(0.187 – 0.420)
溴氰菊酯 Deltamethrin	溴氰菊酯 Deltamethrin	420	1.078 ± 0.148	2.25	0.340(0.172 – 0.575)
	溴氰菊酯 + DEF Deltamethrin + DEF	420	1.143 ± 0.122	1.5	0.181(0.112 – 0.279)
	用 DEF 前处理 Pretreatment with DEF ^a	420	1.176 ± 0.138	1.3	0.047(0.029 – 0.072)
氧化乐果 Omethoate	氧化乐果 O methoate	420	2.462 ± 0.439	6.05	207.999(129.557 – 278.457)
	氧化乐果 + DEF Omethoate + DEF	420	2.321 ± 0.287	3.00	144.882(11.650 – 181.427)
	用 DEF 前处理 Pretreatment with DEF ^a	420	2.640 ± 0.490	7.00	91.025(46.610 – 127.025)
马拉硫磷 Malathion	马拉硫磷 Malathion	420	3.165 ± 0.608	2.4	141.912(98.950 – 177.860)
	马拉硫磷 + DEF Malathion + DEF	420	2.339 ± 0.331	2.55	147.546(109.121 – 186.936)
	用 DEF 前处理 Pretreatment with DEF ^a	420	2.725 ± 0.479	1.95	78.212(52.536 – 101.065)
吡虫啉 Imidacloprid	吡虫啉 Imidacloprid	420	1.805 ± 0.364	1.95	11.876(6.588 – 17.796)
	吡虫啉 + DEF Imidacloprid + DEF	420	2.188 ± 0.637	4.35	7.689(4.674 – 10.733)
	用 DEF 前处理 Pretreatment with DEF ^a	420	0.941 ± 0.255	3.85	1.778(0.316 – 3.864)
啶虫咪 Acetamiprid	啶虫咪 Acetamiprid	420	2.040 ± 0.258	3.2	9.581(4.114 – 19.933)
	啶虫咪 + DEF Acetamiprid + DEF	420	2.321 ± 0.287	3.0	5.931(3.402 – 9.019)
	用 DEF 前处理 Pretreatment with DEF ^a	420	2.218 ± 0.279	8.1	0.814(0.493 – 1.222)
灭多威 Methomyl	灭多威 Methomyl	420	1.306 ± 0.248	2.7	37.335(20.495 – 55.541)
	灭多威 + DEF Methomyl + DEF	420	1.119 ± 0.246	3.3	19.559(10.312 – 30.061)
	用 DEF 前处理 Pretreatment with DEF	420	1.016 ± 0.178	2.1	7.120(4.645 – 13.325)
克百威 Carbofuran	克百威 Carbofuran	420	2.294 ± 0.299	3.2	23.927(18.168 – 28.591)
	克百威 + DEF Carbofuran + DEF	420	2.757 ± 0.345	2.65	20.957(14.050 – 26.859)
	用 DEF 前处理 Pretreatment with DEF ^a	420	1.675 ± 0.299	2.8	11.298(6.203 – 16.396)

^a表示 DEF 预处理试虫 10 h; ^b 表示毒力测定所用虫数; ^c 表示 95% 置信区间。

^a represents pretreatment with DEF for 10 h; ^b represents the number of tested aphids; ^c 95% represents confidence limits.

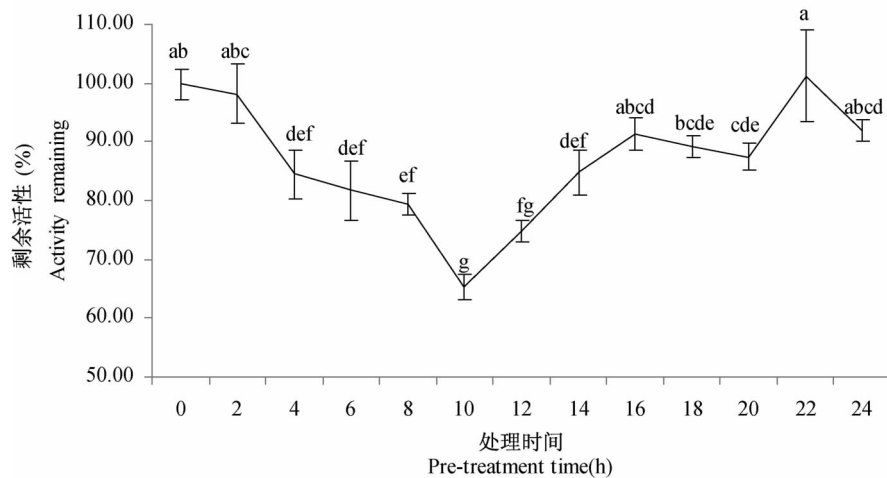


图2 30 mg · L⁻¹DEF 预处理大豆蚜后 24 h 对大豆蚜羧酸酯酶活性的抑制率

Fig. 2 Inhibition of CarE activity in *Aphis glycines* exposing to 30 mg · L⁻¹ DEF for 1 to 24 hours

的蒸馏水做对照,减小了试虫预处理过程中除增效剂之外的因素对试虫生理状况的影响。Young 等(2005)通过生物测定方法验证了 PBO 对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 氰戊菊酯抗性品系羧酸酯酶具有抑制作用。Chang 等(2010)通过测定 DEF 抑制棉蚜 *Aphis gossypii* 羧酸酯酶不同时间的活性变化,得到了 DEF 对棉蚜羧酸酯酶的抑制规律。羧酸酯酶参与拟除虫菊酯类和少数有机磷类杀虫剂在动物体内的代谢,而羧酸酯酶本身有很多抑制剂,大多数为有机磷类杀虫剂(吴文君,2000)。康敬涛和高希武(2009)研究表明高效氯氰菊酯对豆蚜羧酸酯酶无明显抑制作用,本研究参考了上述两者方法,选用高效氯氰菊酯作为生物测定供试药剂,避免了农药对 DEF 抑制羧酸酯酶活性的干扰,并在生物测定和生化 2 个层面明确了 DEF 对大豆蚜羧酸酯酶活性的抑制作用。

试验结果表明 DEF 对大豆蚜羧酸酯酶的抑制在 10 ~ 12 h 时最为明显;经 DEF 预处理后,使用高效氯氰菊酯、溴氰菊酯、氧化乐果、马拉硫磷、吡虫啉、啶虫脒、灭多威和克百威等 8 种药剂的毒力较单一使用药剂和杀虫剂与增效剂混配 2 种情况的毒力增强。DEF 通过抑制昆虫体内水解代谢酶包括羧酸酯酶活性达到对杀虫药剂的增效作用(孙小平,1992),而增效剂对水解酶的抑制需要一定时间反应,所以杀虫药剂与增效剂直接混用不如用增效剂预处理昆虫一定时间后施用杀虫剂效果理想。本试验中 DEF 与 8 种药剂混配的 LC₅₀ 值高于经 DEF 预处理 10 h 的 LC₅₀ 值正好与这一推论

相符。另外,增效剂 DEF 对昆虫羧酸酯酶的抑制作用不仅与作用时间相关,还可能由于昆虫种类和生理状况的不同存在差别。Chang 等(2010)研究表明 DEF 对棉蚜抗性品系羧酸酯酶的抑制在 15 h 时抑制最明显。DEF 除对拟除虫菊酯类和有机磷类药剂具有增效作用外,对新烟碱类的吡虫啉和啶虫脒以及氨基甲酸酯类的灭多威和克百威也有不同程度的增效作用;另外,羧酸酯酶对试验中的 4 类 8 种杀虫剂均具有一定的解毒作用。在田间实际使用增效剂的情况下,可考虑先直接施用增效剂,一定时间后再施用杀虫药剂,这样可提高杀虫效果。当然,施用增效剂和药剂的间隔时间需结合室内生物测定和田间毒力测定的数据综合考虑。

参考文献 (References)

- Bradford MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248—254.
- Chang J, Cao CW, Gao XW, 2010. The effect of pretreatment with S, S, S-tributyl phosphorotrithioate on deltamethrin-resistance and carboxylesterase activity in *Aphis gossypii* (Glover) (Homoptera: Aphididae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 98:296—299.
- Chung KH, Kwon SH, Lee YI, 1980. Studies on the density of soybean aphids in different cultivars, planting dates and spacing. *Korean J. Crop Sci.*, 25:35—40.

- Forgash AJ, Cook BJ, Riley RC, 1962. Mechanisms of resistance in diazinon-selected multi-resistant *Musca domestica*. *J. Econ. Ent.*, 55:544—551.
- 高希武,郑炳宗,梁同庭,曹本钧,1989. 杀虫剂混用或加增效剂对瓜-棉蚜增效作用及机制的研究. *植物保护学报*,16(4):273—278.
- 韩新才,1997. 大豆蚜虫及其天敌田间消长规律. *湖北农业科学*,30(2):22—24.
- 康敬涛,高希武,2009. 豆蚜对杀虫剂的敏感性及其对豆蚜羧酸酯酶和乙酰胆碱酯酶抑制作用的研究. *中国植保导刊*,9(29):5—7.
- Macedo TB, Bastos CS, Higley LG, 2003. Photosynthetic responses of soybean to soybean aphid (Homoptera: Aphididae). *Injury. J. Econ. Ent.*, 96(1):188—193.
- 马振泉,单德安,曲耀训,高晓华,1985. 鲁北豆田害虫治理策略的探讨. *中国油料作物学报*,2:301—302.
- Moores GD, Gao XW, Denholm I, Devonshire AL, 1996. Characterisation of insensitive acetylcholinesterase in insecticide-resistant *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 56(2):102—110.
- Myers SW, Gratton C, Wolkowski RP, Hogg DB, Wedberg JL, 2005. Effect of soil potassium availability on soybean aphid (Homoptera: Aphididae) population dynamics and soybean yield. *J. Econ. Ent.*, 98(1):113—120.
- 彭梅,苏文伟,邓新平,2006. 3种增效剂对药剂的增效作用及酶的抑制作用. *西南农业大学学报*,28(3):475—477.
- Perry AS, Bucknor AJ, 1970. Studies on microsomal P450 in resistant and susceptible houseflies. *Life Sci.*, 9:335—350.
- 尚佑芬,赵玖华,杨崇良,李长松,路兴波,1997. 黄淮地区大豆花叶病研究进展. *山东农业科学*, (5):47—49.
- Singh SR, Van Emden HF, 1979. Insect pests of grain legumes. *Annu. Rev. Entomol.*, 24:255—278.
- 孙小平,1992. 昆虫的抗性机制及增效剂的应用. *世界农业*, (2):29—30.
- Van Asperen K, 1962. A study of housefly esterases by means of a sensitive colorimetric method. *J. Insect Ph.*, 8:401—406.
- Vanden BH, Ankasah D, Muhammad A, 1997. Evaluating the role of predation in population fluctuations of the soybean aphid (*Aphis glycines*) in farmers fields in Indonesia. *J. Appl. Ecol.*, 34:971—984.
- 王春荣,陈继光,郭玉人,宫香余,徐兆飞,林超,1998. 黑龙江省大豆蚜虫发生规律与防治方法. *大豆通报*, (6):15.
- 吴文君,2000. 农药学原理. 北京:中国农业出版社. 263—266.
- Young SJ, Gunning RV, Moores GD, 2005. The effect of piperonyl butoxide on pyrethroid-resistance-associated esterases in *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Manag. Sci.*, 61:397—401.
- 翟保平,王素云,暴祥致,孙雅杰,陈瑞鹿,1996. 大豆蚜虫对大豆生长和产量影响的试验. *大豆科学*, 3(15):243—247.
- 张履鸿,1993. 农业经济昆虫学. 哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院出版社. 211—215.
- 赵学忠,1995. 增效醚的增效作用与机理. *中国媒介生物学及控制杂志*, 6(3):1—3.
- 宗静,高希武,郑炳宗,张凡,孙光芝,1998. 松毛虫赤眼蜂和螟黄赤眼蜂羧酸酯酶性质比较研究. *昆虫学报*, 41(增刊):49—54.