

不同抗性水平家蝇对有机磷、拟除虫菊酯等 药剂的交互抗性研究

邱立红^① 张文吉

(中国农业大学基础科学与技术学院)

摘要 报道对辛硫磷和溴氰菊酯具有不同抗性水平的家蝇对有机磷、拟除虫菊酯及其他药剂的交互抗性情况和生化机制。处于高抗(R/S为625)和极高抗(R/S为547276)水平的抗溴氰菊酯家蝇、以及处于中抗(R/S为21.89)和高抗(R/S为310.72)水平的抗辛硫磷家蝇,对DDT及拟除虫菊酯类药剂均表现出明显的交互抗性;处于高抗和极高抗的抗溴氰菊酯家蝇以及处于中抗的抗辛硫磷家蝇,对灭多威、abamectin及有机磷类药剂均不表现交互抗性;但处于高抗的抗辛硫磷家蝇则对有机磷类药剂表现出中等水平的交互抗性,对灭多威和abamectin无交互抗性。离体酶系分析结果表明,不同抗性水平家蝇的交互抗性情况不同,这与家蝇体内酯酶、多功能氧化酶、谷胱甘肽-S-转移酶和乙酰胆碱酯酶的酶活或特性存在差异有关。

关键词 家蝇;抗性水平;有机磷;拟除虫菊酯;交互抗性

分类号 S481.4

Studies on the Cross-resistance to Organophosphorus and Pyrethroids in Housefly Strains Possessing Different Level Resistance to Phoxim and Deltamethrin

Qiu Lihong Zhang Wenji

(College of Basic Sciences & Technology, CAU)

Abstract Housefly (*Musca domestica vicina* Marquact) strains having high level (625-fold) and superhigh level (547276-fold) resistance to deltamethrin and housefly strains having moderate level (21.89-fold) and high level (310.72-fold) resistance to phoxim all showed strong cross-resistance to DDT and pyrethroids. But both strains of housefly resistant to deltamethrin and the strain that has moderate level resistance to phoxim showed no cross-resistance to organophosphorus. However, the strain that has high level resistance to phoxim showed moderate level cross-resistance to organophosphorus. Biochemical studies suggested that, the difference of enzyme activities or properties of esterase (carboxylesterase), mixed-function oxidase, glutathione-S-transferase and acetylcholinesterase in houseflies were responsible for the different spectrums of cross-resistance of the four strains.

Key words housefly; different level resistance; organophosphorus; pyrethroids; cross-resistance

随着害虫抗性问题的日趋突出,由害虫对某种药剂的抗性而引起的对其他不同药剂的交互抗性、已成为化学防治中的一个严重障碍。它除了影响药剂的防治效果、缩短优良药剂的使用寿命、以及由于施药量增大而造成环境污染加重,还会严重威胁未曾使用过的药剂或正在开发品种的应用,因此是抗性治理及研究中不可忽视的问题之一。害虫抗药性机制的研究以及交

收稿日期:1997-09-01

①邱立红,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

互抗性谱的测定是抗性治理的前提和基础。本试验分别测定具有不同抗性水平的抗辛硫磷和抗溴氰菊酯家蝇对其他有机磷和拟除虫菊酯等药剂的交互抗性,并对其离体酶系进行分析测定,探讨了不同种抗性及不同水平抗性家蝇间生化机制不同与交互抗性差异的关系。

1 材料与方法

1.1 供试家蝇(*Musca domestica vicina* Marcquart)

敏感品系(S)为室内正常品系,在无药剂接触条件下长期饲养。PR4品系为敏感品系家蝇用辛硫磷汰选培育而得的辛硫磷抗性品系,抗性倍数(R/S)为310.72;PR5品系为PR4品系在R/S为99.6时停止用药汰选后的抗性衰退品系,抗性倍数(R/S)为21.89。DR4品系为敏感品系家蝇用溴氰菊酯汰选培育而得的溴氰菊酯抗性品系,抗性倍数(R/S)为547276;DR5品系为DR4品系在R/S为1619时停止用药汰选后的抗性衰退品系,抗性倍数(R/S)为625。

1.2 供试药剂

98%溴氰菊酯(法国罗素·优克福公司);85%辛硫磷(天津农药厂);96.3%醚菊酯(农业部药检所);98%氯菊酯(美国FMC公司);92%胺菊酯(农业部药检所);94%氯氰菊酯(英国ICI公司);95%高效氯氰菊酯(北京顺义农药厂);95.6%氰戊菊酯(日本住友株式会社);89%百树菊酯(农业部药检所);97.3%联苯菊酯(农业部药检所);95%氟氰菊酯(美国氰胺公司);92%丙溴磷(中国农业大学应化系);91%杀螟松(天津农药厂);60%久效磷(沧州农药厂);82%乐果(解放军1957化工厂);98%灭多威(美国杜邦公司);4.75%abamectin(中国农大京农公司);99%DDT(成都化工研究所)。

1.3 交互抗性测定方法

分别取羽化后3~5d的敏感及抗性雌蝇,用毛细管点滴器将系列浓度药液点滴于前胸背部,每个浓度处理60头,重复3次,24h后检查死亡率,计算 LD_{50} 值等。

抗性倍数(R/S)=抗性家蝇 LD_{50} /敏感家蝇 LD_{50} 。

1.4 离体酶系测定方法

1.4.1 酯酶酶活及 K_m 、 V_{max} 值测定 取羽化后3~5d雌蝇,用 $0.04\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ pH7.0磷酸缓冲液在冰水浴条件下整体匀浆后于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心15min,取上清液作酶源。

酶活测定参照Van Asperen(1962)方法^[1]。以 α -乙酸萘酯(α -NA)为底物配制 $0.03\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的丙酮贮备液,于冰箱中备用。使用时用 $0.04\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ pH7.0磷酸缓冲液(含1%丙酮)稀释至 $3\times 10^{-4}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (测定羧酸酯酶时还加入毒扁豆碱 $3\times 10^{-4}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)。取1mL工作酶液加入到5mL $3\times 10^{-4}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ α -NA溶液中,在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴中振摇30min后加入1mL显色剂,15min后测定其600nm吸光值。以不同浓度的 α -萘酚做标准曲线。

羧酸酯酶米氏常数 K_m 值及最大反应速率 V_{max} 值的测定是将 α -NA(含毒扁豆碱)用 $0.04\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ pH7.0磷酸缓冲液稀释成梯度浓度,加入与酶活测定相同的酶源,测定不同底物浓度的羧酸酯酶酶活,用双倒数作图法求出 K_m 及 V_{max} 。

1.4.2 多功能氧化酶-O-脱甲基活力测定 参照Hansen和Hodgson(1971)方法^[2]并略加以改进。取3~5日龄家蝇,用液氮快速冷冻,取雌蝇腹部,用冰冷的 $0.2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ pH7.8磷酸缓冲液在冰水浴条件下匀浆。匀浆液于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $12\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心15min,取上清液为酶源。反应体系中含酶液1mL、NADPH2.5mg、对硝基苯甲醚 $10\ \mu\text{L}$ $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、缓冲液2mL,于 $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴振摇30min后,加入HCl 1mL $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 终止反应。用5mL乙醚萃取,再用3

mL NaOH $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 萃取。测定 NaOH 溶液层的 400 nm 吸光值。以不加 NADPH 为对照。

1.4.3 谷胱甘肽-S-转移酶活力测定 参照 Oppenoorth(1977,1979)方法^[3,4]并略加改进。取 3~5 日龄雌蝇,在 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, pH6.5 磷酸缓冲液中匀浆,常温 $3000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 15 min,上清液为酶源。以 CDNB 为底物,取 1 mL 酶液与 3 mL 反应混合液混合,于 27°C 恒温振荡 30 min 后测定 350 nm 吸光值。

1.4.4 乙酰胆碱酯酶活力及 K_m, V_{\max} 值测定 采用 Gorun 等(1978)的方法^[5]。

1.4.5 酶源蛋白质含量测定 采用考马斯亮蓝染色法,以牛血清白蛋白(BSA)为标准蛋白。

2 结果与分析

2.1 交互抗性测定结果

不同抗性水平的抗辛硫磷家蝇和抗溴氰菊酯家蝇,对 DDT 及拟除虫菊酯类药剂都表现明显的交互抗性,而且抗性水平越高,对 DDT 及拟除虫菊酯类药剂的交互抗性倍数亦越高(表 1)。但是这 2 个抗性品系对拟除虫菊酯的交互抗性程度有明显差异。抗辛硫磷家蝇对拟除虫菊酯的交互抗性,除在高抗时对高效氯氰菊酯的抗性倍数(R/S 为 206.55)略低于其对辛硫磷的抗性倍数(R/S 为 310.72)外,对其他 8 种拟除虫菊酯的交互抗性倍数都超过对辛硫磷的抗性倍数。而抗溴氰菊酯家蝇对拟除虫菊酯的交互抗性,除了高抗时对氯菊酯和氟氰菊酯的抗性倍数(R/S 分别为 4771.88 和 2896.22)超过对溴氰菊酯的抗性倍数(R/S 为 625)外,对其余 7 种拟除虫菊酯药剂的交互抗性倍数都远低于对溴氰菊酯的抗性倍数。同时,抗辛硫磷家蝇处于中抗水平(R/S 为 21.89)时对其他有机磷、氨基甲酸酯(灭多威)及 abmectin 等药剂的抗性倍数都较低,不表现交互抗性;处于高抗水平(R/S 为 310.72)时,则对有机磷类药剂表现一定的交互抗性,对灭多威、abmectin 无交互抗性。而抗溴氰菊酯家蝇则无论在极高抗(R/S 为 547276)或高抗(R/S 为 625)情况下,对有机磷类药剂、灭多威、abamectin 都没有交互抗性。这说明不同药剂形成的抗性品系,在不同抗性水平下,产生的交互抗性谱及交互抗性程度有明显的不同。

表 1 不同抗性水平家蝇对有机磷、拟除虫菊酯及其他药剂的交互抗性(抗性倍数)

药剂	抗辛硫磷家蝇		抗溴氰菊酯家蝇		药剂	抗辛硫磷家蝇		抗溴氰菊酯家蝇	
	PR4 品系	PR5 品系	DR4 品系	DR5 品系		PR4 品系	PR5 品系	DR4 品系	DR5 品系
溴氰菊酯	343 182	621	547 276	625	联苯菊酯	482.63	24.18	1487.21	72.05
醚菊酯	357.83	49.46	854.62	43.58	氟氰菊酯	1 085.50	23.68	>7 240.56(10%)	2 896.22
氯菊酯	34 475.86	2 015.60	61 678.43	4 771.88	辛硫磷	310.72	21.89	2.64	2.17
胺菊酯	3 555.41	294.42	5 774.08	384.55	丙溴磷	19.69	2.47	4.97	2.79
氯氰菊酯	421.03	174.37	1 386.27	231.83	杀螟松	11.35	1.39	3.99	1.31
高效氯氰菊酯	206.55	63.79	181.78	61.43	久效磷	59.81	5.37	8.42	7.55
氰戊菊酯	314.16	24.49	1 245.20	34.74	乐果	20.17	0.86	0.92	0.56
百树菊酯	961.64	288	1 861.93	221.36	灭多威	1.76	1.54	1.77	0.58
DDT	>53.99(5%)*	12.80	>89.98(5%)*	42.87	abamectin	4.41	1.97	5.29	1.08

* 括号中的百分数表示抗性倍数是按照家蝇在这一死亡率时的剂量计算。

2.2 离体酶系测定结果

2.2.1 全酯酶及羧酸酯酶活力 不同抗性水平家蝇的非特异性酯酶及羧酸酯酶活力明显高

于敏感品系(表 2);同时抗性水平较高的 PR4,DR4 品系的又比抗性水平较低的 PR5,DR5 品系的明显高。说明非特异性酯酶、羧酸酯酶不仅和 2 种不同药剂的抗性有关,还和不同抗性水平、不同交互抗性有一定的关系。

表 2 不同家蝇非特异性酯酶及羧酸酯酶活力*

家蝇品系	非特异性酯酶		羧酸酯酶	
	酶活力 $\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	抗性指数 R/S	酶活力 $\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	抗性指数 R/S
S	8.47±0.051	1	4.81±0.40	1
PR4	22.57±0.31	2.66	14.50±0.40	3.01
PR5	15.11±0.61	1.78	10.74±0.33	2.23
DR4	27.39±0.15	3.23	19.49±0.066	4.05
DR5	18.00±1.54	2.13	10.49±0.68	2.18

注:实验数据为 5 次实验统计结果(平均值±标准差)。测定样品蛋白质单位为 mg,下同。

2.2.2 羧酸酯酶米氏常数(K_m)及最大反应速率常数(V_{\max}) 除了处于中抗水平的抗辛硫磷家蝇 PR5,其他各抗性品系的 K_m 值均显著下降(表 3),说明羧酸酯酶发生了质的变化,对底物的亲和力显著增强;并且各品系的 V_{\max} 值均较敏感品系的明显提高,表明酶反应速度加快、活性增强,这与 2.2.1 所得结果一致;通过比较还可以看出,抗性水平较高的 PR4,DR4 品系的 K_m 值均比抗性水平较低的 PR5,DR5 品系的低,并且其 V_{\max} 值又比后二者的明显高,说明羧酸酯酶在家蝇对辛硫磷和溴氰菊酯的抗性中起着重要作用,家蝇抗性水平及交互抗性情况不同和羧酸酯酶 K_m 、 V_{\max} 值变化不同有关。

表 3 不同家蝇羧酸酯酶 K_m 及 V_{\max}

家蝇品系	K_m $\times 10^{-4}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	K_m 指数	$V_{\max}/$ $\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	V_{\max} 指数
S	2.51±0.014	1	4.00±0.064	1
PR4	0.59±0.014	0.235 0	14.27±0.33	3.57
PR5	3.00±0.00	1.20	8.20±0.31	2.05
DR4	0.70±0.022	0.278 9	20.16±0.40	5.04
DR5	1.73±0.21	0.689 2	6.36±0.30	1.59

注:实验数据为 5 次实验统计结果(平均值±标准差)。

2.2.3 多功能氧化酶-O-脱甲基活力 实验结果表明(表 4),各抗性品系的 MFO-O-脱甲基活力均明显高于敏感品系家蝇,并且 PR4 和 DR4 品系的又明显高于 PR5 和 DR5 品系的。表明 MFO 是造成家蝇对辛硫磷、溴氰菊酯抗性的重要原因之一,同时也是家蝇抗性水平不同的原因之一。

Wilkinson^[6]认为,杀虫药剂的筛选一方面可以导致害虫 MFO 酶系各类氧化作用的同时增加,从而表现出广谱交互抗性;另一方面又可对不同形式的 MFO 选择性地增加,产生较窄的交互抗性谱。本实验似乎也证实了这一点。尽管 PR4 和 DR4 品系的 MFO 活力都较高,但对辛硫磷高抗的 PR4 家蝇对有机磷、拟除虫菊酯类的许多药剂具有明显的交互抗性,而对溴氰菊酯极高抗的 DR4 家蝇,却只对菊酯类药剂表现交互抗性,对有机磷类药剂没有交互抗性。

表4 不同家蝇多功能氧化酶(MFO)及谷胱甘肽-S-转移酶(GST)活力

家蝇品系	MFO		GST	
	酶活力 $\text{mmol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot(30\text{ min})^{-1}$	指数 R/S	酶活力 $\text{mmol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot(30\text{ min})^{-1}$	指数 R/S
S	2.86 ± 0.08	1	17.13 ± 0.60	1
PR4	10.12 ± 0.92	3.53	30.71 ± 1.50	1.79
PR5	4.74 ± 0.54	1.66	12.88 ± 0.59	0.75
DR4	7.68 ± 0.38	2.69	33.26 ± 0.64	1.94
DR5	4.55 ± 0.35	1.59	20.15 ± 0.18	1.18

注:实验数据为4次实验统计结果(平均值±标准差)。

2.2.4 谷胱甘肽-S-转肽转移酶(GST)活力 从表4还可以看出,不同抗性水平的抗溴氰菊酯家蝇(DR4、DR5)间 GST 活力相差不大(DR4 比 DR5 高 0.65 倍),但处于高抗的抗辛硫磷家蝇(PR4)的 GST 活力明显高于中抗(PR5)的(高 1.38 倍),说明 GST 可能对不同抗性水平的抗辛硫磷家蝇间所存在的差异起着更为重要的作用。

2.2.5 乙酰胆碱酯酶(AChE)活力及 K_m 、 V_{\max} 值 AChE 是昆虫神经系统中最主要的酶系之一,同时又是有机磷和氨基甲酸酯类药剂的作用靶标,它的结构性质发生变异将会直接影响其与药剂的结合。其中米氏常数 K_m 是酶反应的特征性常数, K_m 值越大,表明酶对底物的亲和性越弱,对杀虫药剂的抑制作用越不敏感。目前已经发现,不敏感的 AChE 是许多害虫对有机磷和氨基甲酸酯类药剂抗性的重要机制^[7~9]。

本实验结果表明,抗辛硫磷家蝇(PR4、PR5)的 AChE 的 K_m 值均比敏感家蝇的高(表5),说明 AChE 性质发生了改变,对底物(杀虫剂)的亲合能力降低。其中 PR4 品系不仅 K_m 值高于 PR5 品系的,其 AChE 酶活及最大反应速率 V_{\max} 还高于 PR5 品系的,这和该品系对辛硫磷抗性水平较高,对其他有机磷药剂交互抗性明显相一致。说明 AChE 结构变异、敏感度降低是 PR4 品系对辛硫磷高抗的一个重要原因,同时也是该品系对其它有机磷药剂有明显交互抗性的主要原因;而 PR5 品系尽管 K_m 值也有所增大,但其酶活和 V_{\max} 值却远远低于 PR4 品系的、甚至比敏感家蝇的还低,这可能是它尽管对辛硫磷有一定程度的抗性,但对其他有机磷药剂却不表现交互抗性的一个主要原因。

表5 不同家蝇乙酰胆碱酯酶(AChE)活力及 K_m 、 V_{\max} 值

家蝇品系	酶活力 $\text{mmol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	酶活指数	K_m	K_m 指数	V_{\max}	V_{\max} 指数
			$\times 10^{-3}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$		$\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	
S	0.16 ± 0.057	1	1.53 ± 0.12	1	0.22 ± 0.01	1
PR4	0.35 ± 0.022	2.19	2.89 ± 0.016	1.89	0.49 ± 0.022	2.23
PR5	0.14 ± 0.022	0.88	2.25 ± 0.35	1.47	0.18 ± 0.010	0.82
DR4	0.39 ± 0.028	2.44	1.27 ± 0.11	0.83	0.40 ± 0.00	1.82
DR5	0.38 ± 0.085	2.38	1.26 ± 0.078	0.82	0.68 ± 0.17	3.09

注:实验数据为2次实验统计结果(平均值±标准差)。

抗溴氰菊酯家蝇(DR4、DR5)的 K_m 值则略低于敏感家蝇的,表明 AChE 对底物(杀虫剂)的亲合力有所增强,也说明 DR4、DR5 品系的抗性与 AChE 无关,所以它们对有机磷和氨基甲酸酯类药剂不存在交互抗性。

3 讨论

关于拟除虫菊酯和有机磷两类药剂间的交互抗性,大多数研究报道认为不存在明显交互抗性^[10~12],甚至有些药剂间还存在负交互抗性^[13],因此认为这 2 类药剂可以轮换使用或合理混用。但早期也有些国外报道指出,抗有机磷类药剂的害虫对拟除虫菊酯类药剂有交互抗性^[15,16]。本实验结果表明,对溴氰菊酯高抗或极高抗的家蝇对有机磷及氨基甲酸酯类药剂没有交互抗性,但是对辛硫磷中抗或高抗的家蝇却对拟除虫菊酯类药剂表现明显的交互抗性,而且交互抗性倍数大都超过对辛硫磷本身的抗性倍数。这说明对 A 种药剂有抗性的害虫如对 B 种药剂无交互抗性,并不能排除害虫对 B 种药剂产生抗性后对 A 种药剂没有交互抗性。由此提醒我们,在田间通过混用或轮用治理抗性害虫时,必须对 2 种药剂间的正反交互抗性完全弄清楚,选择真正无交互抗性的药剂,才能达到延缓或阻止抗性发展的目的;同时,对有机磷类药剂也必须慎重使用。尽管一般认为害虫对有机磷产生抗性的速度较慢、抗性水平也较低,但如果不加注意,害虫一旦对其产生了较高抗性,就有可能对大多数拟除虫菊酯类药剂同时产生很高的抗性,后果将不堪设想。尤其是害虫对菊酯类药剂产生抗性以后,有机磷常作为轮换药剂使用,在田间的施用量和施用频率不断呈上升趋势,如果不加注意,也许抗性很快就会产生。

本实验表明,家蝇抗性水平不同,产生交互抗性的程度也不同,抗性水平越高,交互抗性越严重。尤其是抗辛硫磷家蝇,中抗时对其他有机磷药剂还不表现交互抗性,到高抗时交互抗性已经很明显。由此提醒我们,要尽可能采取积极的预防措施,把害虫抗性阻止或抑制在初期阶段,最好不要让抗性发展到高抗水平,否则广谱的交互抗性将会大大增加防治的难度。

生化机制分析表明,家蝇对辛硫磷和溴氰菊酯的抗性均是多因子的,但侧重点不同;不同种类、不同抗性水平家蝇间交互抗性情况不同,和各种因子的变化不同有关。AChE 结构变异是抗辛硫磷家蝇的一个重要抗性机制,与家蝇对溴氰菊酯的抗性无关,这是 2 种抗性家蝇对有机磷类药剂交互抗性情况不同的主要原因;酯酶(羧酸酯酶)、多功能氧化酶的酶活在 2 种抗性家蝇中尽管都比敏感家蝇的明显升高,并且羧酸酯酶性质发生变化、对底物的亲和力显著增强,但未引起对有机磷类药剂的明显交互抗性,说明这 2 个因子在家蝇对拟除虫菊酯类药剂交互抗性中起着更为重要的作用;同时,酯酶(羧酸酯酶)、多功能氧化酶在 2 种家蝇中作用的方式、或者变化的本质可能不同,酯酶同工酶电泳分析已部分证实了这一点(未发表资料),这可能是 2 种家蝇对拟除虫菊酯类药剂交互抗性程度明显不同的主要原因。

而同种药剂不同抗性水平间交互抗性程度不同,则可能是因为多种抗性因子变化程度不同引起。通过比较可看出,同种药剂不同抗性水平的家蝇品系间,各种因子(酯酶、多功能氧化酶、乙酰胆碱酯酶、谷胱甘肽-S-转移酶的酶活或特性)的变化趋势基本相同,只是程度不同。抗性水平高的,各种因子的变化程度就大;相反,抗性水平越低,各种因子的变化程度就越小、甚至不变。这和 Sawicki 等的研究基本一致。Sawicki 等^[16]研究桃蚜酯酶与抗药性关系时把羧酸酯酶活性按低、中、高分成 3 组,他们发现酯酶活性低的桃蚜(S)对乐果等药剂敏感,活性中等的(R_1)对乐果和硫赶式甲基 1059 有 5~7 倍的抗性,活性高的(R_2)则对乐果和硫赶式甲基 1059 分别有 126 和 17 倍的抗性;随后的研究^[15]又发现, R_1 对氯菊酯、氰菊酯及溴氰菊酯的交互抗性倍数只分别有 6.1、2.1 和 5.9 倍,而 R_2 对这些药剂的交互抗性倍数则分别高达 87、65 和 1 282 倍。交互抗性程度和抗性水平、酶活高低表现出一定的正相关性。

已有研究表明,神经敏感度降低(Kdr 因子)是害虫对拟除虫菊酯类药剂抗性的一个重要

机制,也是引起菊酯类药剂间交互抗性的一个主要原因^[17]。具有高抗、极高抗水平的抗溴氰菊酯家蝇以及具有中抗、高抗水平的抗辛硫磷家蝇,对拟除虫菊酯类药剂均具有明显的交互抗性,Kdr 因子是否也是它们的一个重要抗性机制,还有待深入研究。

参 考 文 献

- 1 Asperen K Van. A study of housefly esterase by means of a sensitive colorimetric method. *J Ins Physiol*, 1962, 8:401~416
- 2 Hansen L G, Hodgson E. Biochemical characteristics of insect microsoms N-and O-demethylation. *Biochem Pharmac*, 1971, 20:1569~1578
- 3 Oppenoorth F J, Smissaert H R, Welling W, et al. Insecticide actylcholinesterase, high glutathione-S-transferase, and hydrolytic activity as resistance factors in a tetrachlorvinphos-resistant strain of housefly. *Pestic Biochem Physiol*, 1977, 7:34~47
- 4 Oppenoorth F J, Pas L J T, Houx N W H. Glutathione-S-transferase and hydrolytic activity in a tetrachlorvinphos-resistant strain of housefly and their influence on resistance. *Pestic Biochem Physiol*, 1979, 11:176~188
- 5 Gorun V, Proinov L, Baltescu V, et al. Modified Ellman procedure for assay of cholinesterase in crude enzymetic preparation. *Analytical Biochem*, 1978, 86:324~326
- 6 Wilkinson C F. Role of mixed-function oxidase in insecticide resistance. In: Georghiou G P, Saito T, eds. *Pest Resistance to Pesticides*. New York: Plenum, 1983
- 7 郑炳宗,高希武.棉蚜对有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂抗性机制研究. *植物保护学报*, 1989, 16(2):131~138
- 8 Hemingway J, Smith C. Field and laboratory detection of the altered acetylcholinesterase resistant genes which confer organophosphate and carbamate resistance in mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Bull Entomol Res*, 1986, 76:559~565
- 9 李月明,孙耘芹.乙酰胆碱酯酶敏感性变化与家蝇抗药性的关系. *昆虫学报*, 1987, 30(3):239~245
- 10 姜家良,张朝远,刘维德.吡啶菊酯选育的淡色库蚊对 DDT、有机磷和二氯苯醚菊酯的交互抗性研究. *昆虫学研究集刊*, 1984, (4):113~119
- 11 张文吉,韩熹莱.拟除虫菊酯的结构与害虫抗药性的关系. *昆虫学报*, 1992, 35(1):22~27
- 12 Campanhola C. Managing pyrethroid resistance on the tobacco budworm: bioassay, resistant mechanism and biological constrain. In: *Proceedings Beltwide Cotton Production Research Conference, National Cotton Council of America, Memphis, Tenn*, 1989, 352~359
- 13 刘润玺,程桂林,胡明江等.菊酯类农药的负交互抗性的研究. *农药*, 1986, (4):61
- 14 Sawicki R M, Rice A D. Response of susceptible and resistant peach-potato aphid *Myzus persicae* (Sulz) to insecticides in leaf-dip bioassays. *Pestic Sci*, 1978, 9: 513~516
- 15 Harris C R, Svec H J. Dosage-mortality studies of synthetic pyrethroids and methylparathion on the tobacco budworm in central Arizona. *J Econ Entomol*, 1981, 74:421~424
- 16 Sawicki R M, Devonshire A L, Rice A D, et al. The detection and distribution of organophosphorus and carbamate insecticide-resistant *Myzus persicae* (Sulz) in Britain in 1976. *Pestic Sci*, 1978, 9:189~201
- 17 Forrester N W. Field selection for pyrethroid resistance genes. *Australian Cotton Grower*, 1988, 9(3): 48~51