

多炔类化合物对菜粉蝶的生物活性研究

万树青, 徐汉虹, [赵善欢], 刘清新

(华南农业大学农药与化学生物学教育部重点实验室, 广东广州 510642)

摘要: 生物活性测定结果表明: 人工合成的 11 个多炔类化合物对菜粉蝶 *Pieris rapae* 成虫产卵具有忌避活性, 化合物 2 (6, 6-二甲基-2, 4-庚二炔-1-醇)、化合物 5 [1-苯基-4-(3, 4-亚甲基二氧)-苯基-1, 3-丁二炔]、化合物 6 (1-苯基-4-m-硝基苯基-1, 3-丁二炔)、化合物 7 (1-苯基-4-D-硝基苯基-1, 3-丁二炔) 和化合物 9 (1-苯基-2, 4-己二炔) 在 1 mg·mL⁻¹ 的质量浓度下, 24 h 忌避率均在 70% 以上; 在 2mg·mL⁻¹ 质量浓度下, 测得化合物 9 在选择性和非选择性的试验条件下, 拒食率均达 50% 以上; 在 0.5 mg·mL⁻¹ 质量浓度处理时, 测得化合物 4 (1-苯基-4-p-甲氧苯基-1, 3-丁二炔) 和化合物 5, 72 h 内对卵孵化抑制率分别为 42.73% 和 60.48%; 在 1 mg·mL⁻¹ 质量浓度下, 光照处理 48 h 毒杀 3 龄幼虫死亡率在 50% 以上的化合物有化合物 5、6 和 10 (0, 0-二乙基-o-炔丙基硫代磷酸酯)。盆栽试验表明, 施用质量浓度为 0.5 mg·mL⁻¹ 的化合物 5 时, 24~72 h 的防效均在 80% 以上。通过对排泄物的高效液相色谱分析, 测得菜粉蝶幼虫对化合物 5 的排泄率为 52.05%。

关键词: 多炔类化合物; 菜粉蝶; 生物活性

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-411X(2007)02-0056-05

Study on Bioactivity of Polyacetylene Compounds to *Pieris rapae*

WAN Shu-qing, XU Han-hong, [ZHAO Shan-huan], LIU Qing-xin

(Key Lab of Pesticide and Chemical Biology, Ministry of Education, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: The bioactivities of 11 synthetic polyacetylene compounds were tested against *Pieris rapae*. The results showed that compound 2 (6,6-dimethyl-2,4-heptadiyne-1-ol), compound 5 [1-phenyl-4-(3,4-methylenedioxy)-phenyl-1,3-butadiyne], compound 6 (1-phenyl-4-m-nitrophenyl-1,3-butadiyne), compound 7 (1-phenyl-4-o-nitrophenyl-1,3-butadiyne) and compound 9 (1-phenyl-2,4-hexadiyne) caused oviposition-repelling to the adults, the rate was over 70% at 1 mg·mL⁻¹ for 24 h. It was found that compound 9 was the most active in antifeeding to the larvae among the tested compounds, the rate of antifeeding was both over 50% with the method of selection and non-selection and compound 4 (1-phenyl-4-p-methoxyphenyl-1,3-butadiyne) and 5 inhibited the egg hatching, the rate of inhibiting was 42.73% and 60.48%, respectively, at 0.5 mg·mL⁻¹ for 72 h. In the experiment of photoactivity it was found that compounds 5, 6 and 10 (O, O-diethyl-o-propargyl thiophosphate) gave more than 50% mortality of larvae of *P. rapa* with the treatment of UV-A at 1 mg·mL⁻¹ for 48 h, but compared the activity without the treatment of UV-A, difference was not obvious statistically. Pot trial showed that compound 5 got a good effectiveness against *P. rapae*, the control effect was over 80% at 0.5 mg·mL⁻¹ in 24-72 h. The results of analysis of excreta of the larvae by HPLC indicated that the insect can exact the compound 5 after feeding the compound, the rate of exaction was 52.05%.

Key words: polyacetylene; *Pieris rapae*; bioactivity

多炔类化合物是植物与昆虫长期协同进化过程中形成的具有抵御昆虫侵食作用的重要次生代谢物之一。已有研究表明, 从菊科植物鬼针草 *Bidens pilosa* 中分离出 7-苯基-2,4,6-庚三炔 (phenylhep-

收稿日期: 2006-08-31

作者简介: 万树青 (1953—), 男, 博士, 教授, E-mail: wanshuqing@scau.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金 (30170097); 广东省自然科学基金 (990703 和 010319)

tatriyne, PHT)对昆虫表现出多种活性. PHT 对蚊 *Aedes albopictus*、蝇 *Musca domestica* 卵、烟草天蛾 *Manduca sexta* 和玉米螟 *Ostrina furnacalis* 等具有光活化毒杀作用,光照可提高毒杀果蝇 *Drosophila melanogaster* 卵活性 37 倍,对暗缘地蚕 *Euxoa messoria*、菜粉蝶 *Pieris rapae* 幼虫具有拒食活性^[1-3]. 徐汉虹等^[4]发现猪毛蒿 *Artemisia scoparia* 精油对粮贮害虫具有忌避、生长繁殖抑制活性,从精油中分离出活性成分为茵陈二炔,测得茵陈二炔对斜纹夜蛾 *Prodenia litura* 幼虫具有光活化生长抑制作用,对亚洲玉米螟幼虫具有拒食活性^[5-6]. 万树青等^[7-8]测得人工合成的炔类化合物 1-苯基-4-(3,4-亚甲基二氧)苯基-1,3-丁二炔对蚊幼虫具有显著的光活化毒杀作用,对检测昆虫的乙酰胆碱酯酶和 ATP 酶的活性具有一定的影响. 本研究以茵陈二炔为结构母体,人工合成的 11 个多炔类化合物为研究对象,测定该类化合物对菜粉蝶的生物活性,为多炔类化合物作为害虫防治剂提供科学的依据.

1 材料与方法

1.1 试虫与药剂

菜粉蝶采自广州市郊菜地,在室内饲养 1 代,供试.

供试化合物(表 1),均由南开大学元素有机化学研究所刘准教授合成,纯度 $\geq 95\%$. 参比化合物 α -三联噻吩(Alpla-terthienyl, α -T),从 Sigma 公司购进. 川楝素(Toosendanin),由华南农业大学昆虫毒理研究室提供.

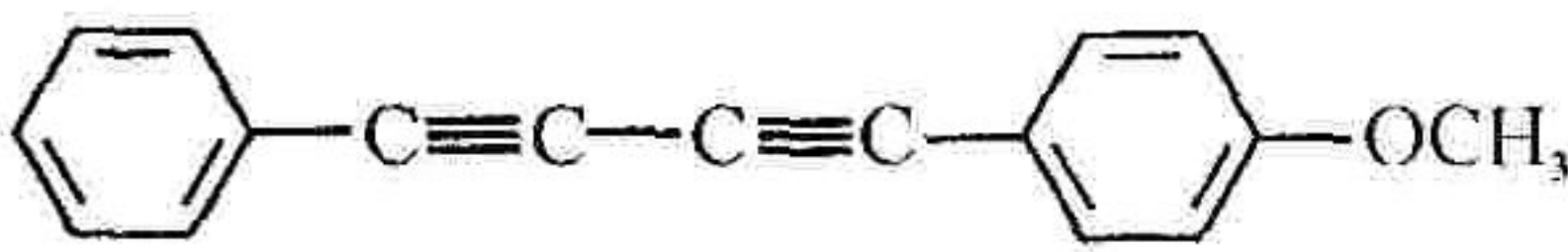
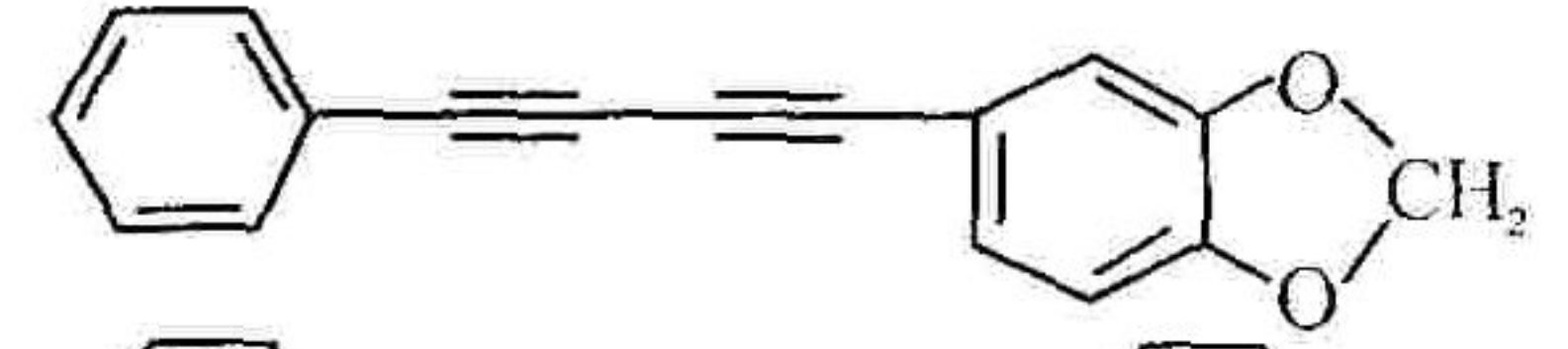
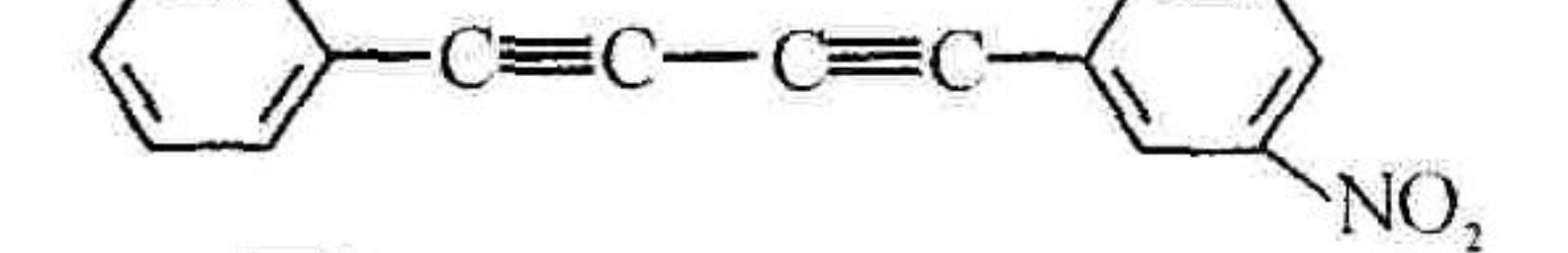
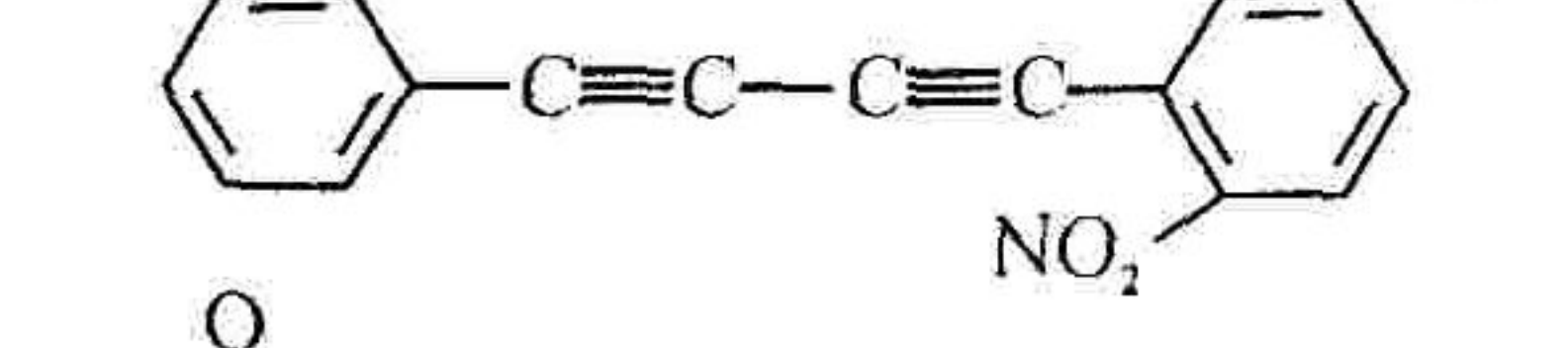
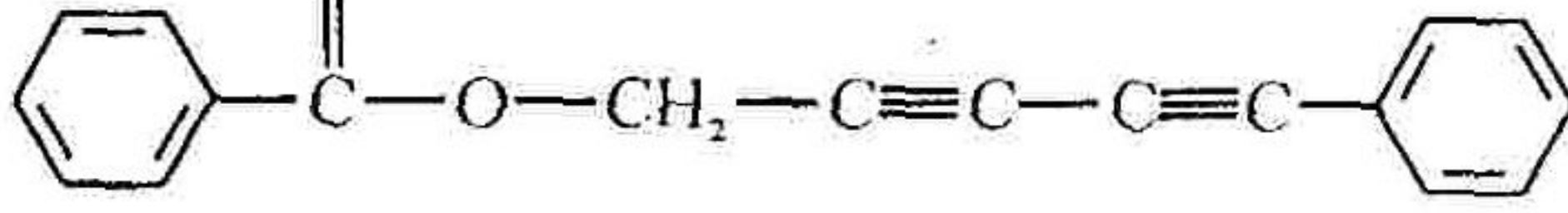
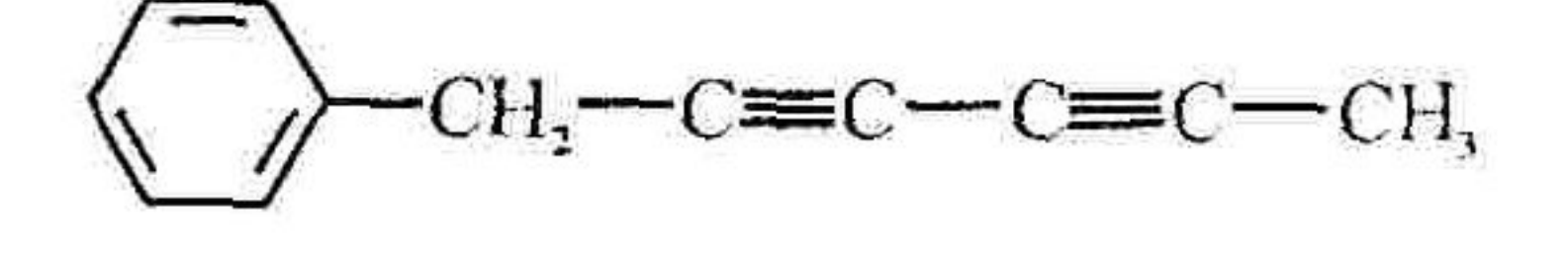
1.2 试验方法

1.2.1 产卵忌避和卵孵化抑制活性测定 盆栽甘蓝 *Brassica oleracea* var. *capitata* 幼苗 4~5 叶期,受试化合物用少许丙酮溶解 [φ (丙酮) $< 1\%$],滴加吐温-80 乳化,加水配成 1 mg/mL 的溶液,用小型喷雾器喷雾,空白对照(CK)为清水. 每处理 3 个重复. 喷雾处理后放入温室,面积 8 m²,接入羽化 1~2 d 的菜粉蝶成虫 40 头. 24、48、72 h 后调查每株幼苗上落卵数、孵化的幼虫数,根据公式计算产卵忌避率和卵孵化抑制率. 产卵忌避率 = (对照落卵数 - 处理落卵数) / 对照落卵数 $\times 100\%$, 孵化抑制率 = (对照卵孵化数 - 处理卵孵化数) / 对照卵孵化数 $\times 100\%$.

1.2.2 拒食活性测定 利用叶面积测定仪分别测定 11 种化合物和参比化合物川楝素作用下的 5 龄菜粉蝶幼虫的取食面积,在选择性与非选择性条件下,计算拒食率:拒食率 = (对照组取食面积 - 处理组取食面积) / 对照组取食面积 $\times 100\%$.

表 1 受试化合物的编号、名称及结构

Tab. 1 Tested compound number, name and structural formula

化合物编号 no. of compound	名称 name	结构式 structural formula
1	2,2,7,7-四甲基-3,5-辛二炔 2,2,7,7-tetramethyl-3,5-octadiyne	$(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}(\text{CH}_3)_3$
2	6,6-二甲基-2,4-庚二炔-1-醇 6,6-dimethyl-2,4-heptadiyne-1-ol	$(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_2\text{OH}$
3	2,4-己二炔-1,6-二醇 2,4-hexadiyne-1,6-diol	$\text{HOCH}_2-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_2\text{OH}$
4	1-苯基-4- <i>p</i> -甲氧苯基-1,3-丁二炔 1-phenyl-4- <i>p</i> -methoxyphenyl-1,3-butadiyne	
5	1-苯基-4-(3,4-亚甲基二氧)-苯基-1,3-丁二炔 1-phenyl-4-(3,4-methylenedioxy)-phenyl-1,3-butadiyne	
6	1-苯基-4- <i>m</i> -硝基苯基-1,3-丁二炔 1-phenyl-4- <i>m</i> -nitrophenyl-1,3-butadiyne	
7	1-苯基-4- <i>o</i> -硝基苯基-1,3-丁二炔 1-phenyl-4- <i>o</i> -nitrophenyl-1,3-butadiyne	
8	1-苯基-5-苯甲酰基-1,3-戊二炔 1-phenyl-5-benzoyloxy-1,3-pentadiyne	
9	1-苄基-2,4-己二炔 1-benzyl-2,4-hexadiyne	
10	O,O-二乙基-o-炔丙基硫代磷酸酯 O,O-diethyl-o-propargyl thiophosphate	$(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O})_2\text{P}(=\text{S})-\text{OCH}_2-\text{C}\equiv\text{CH}$
11	3-溴-2-丙炔-1-醇 3-bromo-2-propyn-1-ol	$\text{Br}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_2\text{OH}$

1.2.3 光活化毒杀与生长发育抑制活性测定 受试药剂按1.2.1方法配制成1 mg/mL溶液,浸渍叶片3~5 s,将叶片与3龄菜粉蝶幼虫一起放入培养皿内,每处理3个重复.在恒温(25℃)条件下黑暗处理12 h,取半数在紫外灯下光照($\lambda = 340\text{ nm}$, $1.2 \sim 1.5\text{ W/m}^2$)6 h,继续黑暗处理,48和72 h后分别调查光照与未光照处理试虫的死亡率.

1.2.4 盆栽试验 待盆栽甘蓝幼苗到10 cm高左右时,每盆接3~4龄菜粉蝶幼虫10头,受试药剂按1.2.1方法配制成质量浓度为0.5、0.2和0.1 mg/mL溶液,喷雾后置直射太阳光下和放入室内无直射太阳光下处理,以清水为对照(CK).每处理重复6盆,光照3 h后,所有处理放入温室,分别在24、48、72 h调查试验结果,按Henderson-Tilton公式计算虫口减退率和防治效果^[9].

1.2.5 菜粉蝶幼虫对化合物5和 α -T排泄作用 高效液相色谱分析 给4龄菜粉蝶幼虫分别定量饲喂以化合物5和 α -T药剂涂布的甘蓝叶片,随后收集粪便,自然干燥后,以丙酮提取,提取液经高效液相色谱(HP110)分析(带可变波长紫外检测器).条件:化合物5,波长340 nm; α -T,波长350 nm;色谱柱300 mm $\times$ 3.9 mm(id),内装DOS-18填充物;柱温25℃;流动相:V(甲醇):V(水)=85:15;流速1 mL/min.根据出峰的时间和面积计算排泄量.

1.2.6 数据统计与分析 本研究中的数据采用Microsoft Excel 2000软件处理,并用SAS国际通用统计软件包分析数据,对试验结果用邓肯氏新复极差多重比较法(Duncan's multiple range test, DMRT)进行差异显著性分析.

2 结果与分析

2.1 对菜粉蝶成虫产卵忌避活性和对卵孵化的影响

忌避活性测定表明:在质量浓度为1 mg $\cdot$ mL⁻¹下,化合物2、5、6、7、和9在24 h内对菜粉蝶产卵具有一定的忌避作用,忌避率在70%以上,随着时间的延长,忌避率有所下降,但化合物6、7和9,在72 h内仍保持一定的忌避活性,忌避率分别为43.95%和46.16%和43.95%(表2).测定72 h内对卵孵化的影响,发现化合物4和5具有杀卵活性,对卵孵化的抑制率分别为42.73%和60.48%(表3).

表2 多炔类化合物对菜粉蝶成虫产卵忌避活性

Tab.2 The effect of oviposition-repelling of polyacetylene compounds to *Pieris rapae*

化合物 ¹⁾ comp.	忌避率 ²⁾ rate of oviposition-repelling/%		
	24 h	48 h	72 h
1	23.63 $\pm$ 1.27c	18.70 $\pm$ 1.24cde	19.78 $\pm$ 6.69bcd
2	76.54 $\pm$ 5.88a	50.90 $\pm$ 3.47ab	9.89 $\pm$ 0.76de
3	41.26 $\pm$ 5.88bc	13.24 $\pm$ 0.75de	36.26 $\pm$ 2.97ab
4	53.08 $\pm$ 5.88ab	43.41 $\pm$ 1.09abc	17.57 $\pm$ 5.78cde
5	73.54 $\pm$ 5.83a	58.52 $\pm$ 3.76a	14.27 $\pm$ 0.00cde
6	70.55 $\pm$ 5.84a	39.57 $\pm$ 0.92abc	43.95 $\pm$ 6.94a
7	76.54 $\pm$ 5.88a	58.52 $\pm$ 3.81a	46.16 $\pm$ 8.34a
8	23.63 $\pm$ 1.37c	13.50 $\pm$ 0.95de	25.25 $\pm$ 3.42de
9	76.54 $\pm$ 5.84a	30.22 $\pm$ 4.99bcd	43.95 $\pm$ 3.75a
10	35.27 $\pm$ 5.78bc	34.01 $\pm$ 1.14bcd	14.27 $\pm$ 4.10de
11	52.91 $\pm$ 3.95ab	-3.73 $\pm$ 0.00e ³⁾	-13.19 $\pm$ 0.00e ³⁾

1)质量浓度为1 mg $\cdot$ mL⁻¹;2)同列数据后具相同字母者,表示在0.05水平差异不显著(DMRT法);3)“-”表示具引诱活性

表3 多炔类化合物对菜粉蝶卵孵化的影响

Tab.3 The effect of egg hatching of polyacetylene compounds to *Pieris rapae*

化合物 comp.	卵数 number of egg	幼虫数 number of larvae	孵化率 ¹⁾ rate of hatching/%	抑制率 rate of inhabiting/%
1	10.67 $\pm$ 1.15	15.67 $\pm$ 0.58	61.02 $\pm$ 0.51b	10.05
2	11.67 $\pm$ 6.35	12.33 $\pm$ 6.80	51.17 $\pm$ 2.57b	19.90
3	3.00 $\pm$ 1.73	10.33 $\pm$ 2.00	78.90 $\pm$ 4.14b	-7.83 ²⁾
4	16.33 $\pm$ 1.53	10.00 $\pm$ 2.00	37.86 $\pm$ 3.66bc	42.73
5	15.67 $\pm$ 1.15	6.33 $\pm$ 1.53	28.09 $\pm$ 2.06bc	60.48
6	12.67 $\pm$ 2.52	13.33 $\pm$ 1.15	51.59 $\pm$ 4.02b	27.41
7	14.33 $\pm$ 1.15	11.67 $\pm$ 1.52	44.73 $\pm$ 0.83b	37.06
8	8.67 $\pm$ 1.15	15.33 $\pm$ 2.31	63.73 $\pm$ 3.15b	10.33
9	6.00 $\pm$ 1.00	10.67 $\pm$ 5.03	60.44 $\pm$ 7.17b	14.95
10	12.67 $\pm$ 10.01	12.00 $\pm$ 6.93	51.35 $\pm$ 5.12b	27.75
11	13.67 $\pm$ 6.11	23.00 $\pm$ 4.58	63.50 $\pm$ 7.07b	10.65
川楝素 toosendanin	8.33 $\pm$ 2.00	10.67 $\pm$ 3.79	55.71 $\pm$ 2.98b	21.10
CK	5.30 $\pm$ 1.15	15.67 $\pm$ 0.58	71.07 $\pm$ 5.08a	0

1)同列数据后具相同字母者,表示在0.05水平差异不显著(DMRT法);2)“-”表示具促进孵化活性

2.2 对菜粉蝶幼虫的拒食活性

选择性和非选择性的拒食活性测定表明,处理的质量浓度为 $2\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,参比拒食剂川楝素的选择与非选择拒食率分别为87.32%和64.27%,而化合物9的拒食率均在50%以上,表现出对菜粉蝶幼虫的拒食效果,而多数受试化合物对5龄菜粉蝶幼虫的取食行为干扰不明显,拒食率均在50%以下.

2.3 对菜粉蝶幼虫的光活毒杀活性

在 $1\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的质量浓度下,分别在48和72 h调查对3龄菜粉蝶幼虫的光活毒杀效果,从表4可以看出,化合物10对受试昆虫表现出较高的毒杀活性,其72 h的死亡率达到100%,其他化合物2、5、6、7和11在有无光照处理下,72 h的毒杀死亡率均在60%左右,光照与非光照处理差异不显著.化合物10的高毒杀率与其结构为有机磷分子有关.

2.4 盆栽药效

选择化合物5和 $\alpha\text{-T}$ 作盆栽药效试验,喷药后置直射太阳光和非直射太阳光下处理,分别在24、48和72 h调查防治效果.从试验结果(表5)可以看出2种化合物以 $0.5\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 质量浓度处理时,直射光照与非直射光照的虫口减退率与防效均在80%以上,当降至0.2和 $0.1\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,它们的防效显著下降,直射光照与非直射光照处理的结果差异不明显.

2.5 菜粉蝶幼虫对化合物5和 $\alpha\text{-T}$ 的排泄作用

4龄菜粉蝶幼虫取食涂布化合物5和 $\alpha\text{-T}$ 各 $100\text{ }\mu\text{g}$ 的甘兰叶片后,收集粪便.经 1 mL 的丙酮溶解抽提,抽提液加水稀释10倍.稀释液接入致倦库

表4 多炔化合物对菜粉蝶幼虫光活化毒杀效果
Tab.4 the phototoxicity of polyacetylene compounds to the larvae of *Pieris papae*

化合物 ¹⁾ comp.	光处理 treat. of light	死亡率 ²⁾ mortablity/%	
		48 h	72 h
1	有	16.67 ± 0.35 d	53.33 ± 0.39b
	无	10.00 ± 1.16e	40.00 ± 6.36bc
2	有	20.00 ± 1.16d	60.00 ± 2.66b
	无	20.00 ± 0.58d	56.67 ± 0.35b
3	有	20.00 ± 1.16d	13.33 ± 0.47cd
	无	0.00 ± 0.00f	13.33 ± 0.47cd
4	有	6.67 ± 0.41e	46.47 ± 0.36bc
	无	6.67 ± 0.38e	26.67 ± 0.41c
5	有	50.00 ± 1.16b	66.67 ± 0.41b
	无	40.00 ± 1.00bc	68.33 ± 0.49b
6	有	53.33 ± 0.63b	66.67 ± 0.40b
	无	33.33 ± 0.63c	63.33 ± 0.40b
7	有	40.00 ± 0.91bc	66.67 ± 0.31b
	无	26.67 ± 0.53cd	58.33 ± 0.36b
8	有	6.67 ± 0.27e	13.33 ± 0.34cd
	无	6.67 ± 0.41e	13.33 ± 0.42cd
9	有	6.67 ± 0.43e	40.00 ± 0.39bc
	无	0.00 ± 0.00f	13.33 ± 0.42cd
10	有	89.50 ± 0.37a	100.00 ± 0.00a
	无	90.20 ± 0.54a	100.00 ± 0.00a
11	有	42.00 ± 0.36bc	60.01 ± 0.42b
	无	40.11 ± 0.32bc	59.81 ± 0.34b
$\alpha\text{-T}$	有	13.33 ± 0.08d	60.00 ± 0.42b
	无	13.33 ± 0.11d	68.67 ± 0.34b
CK	有	0.00 ± 0.00f	20.00 ± 0.21c
	无	0.00 ± 0.00f	10.00 ± 0.51cd

1) 质量浓度为 $1\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$; 2) 同列数据后具相同字母者,表示在0.05水平差异不显著(DMRT法)

表5 化合物5防治菜粉蝶幼虫盆栽试验结果¹⁾
Tab.5 The result of pot trial of compound 5 against *Pieris papae*

化合物 comp	$\rho/$ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	光处理 treat. of light	虫数 no. of insect	24 h		48 h		72 h	
				虫口减退率 rate of insect reduction/%	防效 control/%	虫口减退率 rate of insect reduction/%	防效 control/%	虫口减退率 rate of insect reduction/%	防效 control/%
5	0.5	有	48	85.42	85.42ab	85.42	85.42 bc	87.50	86.07a
		无	40	80.92	80.92 b	83.33	83.33c	85.71	85.08a
	0.2	有	40	35.00	35.00c	40.00	40.00f	50.00	47.83d
		无	34	32.35	32.35fg	32.35	32.35gh	41.17	38.62ef
	0.1	有	31	22.58	22.58h	35.48	35.48g	41.93	39.41ef
		无	56	14.28	14.28i	28.57	28.57h	30.35	27.33g
$\alpha\text{-T}$	0.5	有	50	88.00	88.00a	100	100a	...	...
		无	40	85.00	85.00ab	95.00	95.00a	...	...
	0.2	有	40	55.00	55.00c	60.00	60.00d	65.00	63.48b
		无	40	50.00	50.00d	55.00	55.00e	57.50	55.65c
	0.1	有	40	25.00	25.00g	37.50	37.50g	42.50	40.00e
		无	30	23.33	23.33h	36.67	36.67g	40.00	37.39f
CK	清水 water	有	39	0	0	0	0	5.38	0
		无	32	0	0	0	0	4.16	0

1) 同列数据后具相同字母者,表示在0.05水平差异不显著(DMRT法);“...”表示叶枯萎死亡

蚊 *Culex quinquefasciatus* 幼虫,经光照处理后,可100%杀死蚊幼虫,而未用2种药剂处理所收集的粪便,同样的处理则无光活毒杀蚊幼虫的效果.采用高效液相色谱

谱仪测定菜粉蝶幼虫取食2种化合物后所产粪便内2种化合物的含量,经计算,菜粉蝶幼虫对化合物5和 α -T的排泄率分别为52.05%和52.70%(表6).

表6 菜粉蝶幼虫粪便中化合物5和 α -T的HPLC定量分析¹⁾

Tab.6 Quantitative analysis of compound 5 and α -T in faeces of *Pieris rapae* by HPLC

试样 sample	$\rho_{\text{给样 sample}} /$ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	$t_{\text{保留}} /$ min	峰面积 peak area	$\rho_{\text{测定 test}} /$ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	吸收量 absorbing amoun/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	排泄率 excretion/%
化合物5 compound 5	10	2.758	577.560 6	10.00		
含化合物5 粪便提取液 extract of faeces	20 [†]	2.759	601.486 3	10.41	9.95	52.05
α -T	10	3.085	652.540 3	10.00		
含 α -T 粪便提取液 extract of faeces	20 [†]	3.075	688.285 8	10.54	9.46	52.70

1)带有†的数据为饲喂昆虫的药剂量

3 讨论

3.1 多炔类化合物对菜粉蝶的主要作用方式

已有报道:多炔类化合物对昆虫表现出多种作用方式,如天然化合物PHT对暗缘地蚕具有拒食活性和生长发育抑制作用,茵陈二炔点滴处理斜纹夜蛾幼虫,光照可出现表皮坏死症状并干扰正常的生长与发育,合成的化合物5对蚊幼虫具有显著的光活化毒杀作用.从本研究的结果来看,受试的多炔类化合物对菜粉蝶也表现出多种作用方式,如产卵忌避、拒食、生长发育、卵孵化抑制活性和触杀活性,其中化合物2、5、6、7和9在 $1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 质量浓度下,所测24 h的产卵忌避率均在70%以上,而且化合物5对其卵的孵化具有显著的抑制活性,表明多炔类化合物对昆虫作用为多作用靶标的化合物.

3.2 菜粉蝶幼虫对多炔类化合物的光活化反应

从光活化毒杀作用测定结果分析,光照在提高对菜粉蝶幼虫的毒杀方面,虽然化合物2、5、6、7、10和11以及参比化合物 α -T都表现出显著的触杀活性,在 $1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的质量浓度下,死亡率均在60%以上,均未能显示出明显的光活化作用,但对其他的试虫,如蚊虫,经化合物5处理,则表现出显著的光活化效应^[7].分析其原因,可能与昆虫间对光敏化合物的代谢有关.通过分析菜粉蝶幼虫排泄物中的化合物5和 α -T的量,可知该试虫对具有光活化的化合物5和 α -T的排泄率高达52.05%和52.70%,表明排泄代谢是菜粉蝶幼虫抵御炔类化合物的光活化毒杀作用的原因之一.

3.3 多炔类化合物作为害虫防治剂的开发前景

一系列的试验结果表明,多炔类化合物对昆虫具有拒食、忌避活性以及光活化毒杀活性,初步药效测定表明,化合物5对菜粉蝶幼虫具有一定的防治

效果,在 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的质量浓度下,3 d内的虫口减退率均达80%以上,表明具有潜在的开发前景.但由于炔类化合物的结构特点及在环境中不稳定性,加之菜粉蝶幼虫对其排泄代谢较强,也会影响其防治效果,这将是该类化合物作为有效的害虫防治剂需要解决的问题.

参考文献:

- [1] MCLACHAN D. Antifeedant activity of the polyacetylene, phenylheptatriyne (PHT) from the Asteraceae to *Euxoa messoria* (Lepidoptera: Noctuidae). [J]. Experientia, 1986, 38:1061-1064.
- [2] ARNASON J T, SWAIN T, WAT C K, et al. Mosquito larvicides of polyacetylenes from species in the Asteraceae [J]. Biochem System Ecol, 1981, 9(1):63-68.
- [3] DOWNUM K R. Photoactivated biocides from higher plants [M]//MAURICE B G, PAU A H. A C S Symposium series 296: Natural resistance of plants to pests role of allelochemicals. Washington D C: American Chemical Society, 1986: 197-205.
- [4] 徐汉虹,赵善欢,周俊,等.猪毛蒿精油杀虫的有效成分[J].昆虫学报,1994,37(4):411-416.
- [5] 万树青,徐汉虹,蒋志胜,等.炔类化合物对亚洲玉米螟拒食活性和电生理反应[M].农药学学报,2001,3(2):48-55.
- [6] 徐汉虹,赵善欢.猪毛蒿精油杀虫活性研究[J].华南农业大学学报,1993,14(4):97-102.
- [7] 万树青,徐汉虹,赵善欢,等.光活化多炔类化合物对蚊幼虫的毒力[J].昆虫学报,2000,43(3):264-270.
- [8] 万树青,徐汉虹,赵善欢,等.多炔类化合物对亚洲玉米螟产卵驱避作用及玉米螟的触角电位反应[J].昆虫学报,2004,47(3):293-297.
- [9] 赵善欢.植物化学保护[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:7-9.

【责任编辑 李晓卉】