

萜类蚜虫拒食剂的筛选研究

韩招久¹, 郑卫青^{1,2}, 姜志宽¹, 钱万红¹, 王宗德², 陈金珠²

(1. 南京军区军事医学研究所, 江苏 南京 210002; 2. 江西农业大学, 江西 南昌 330045)

摘要:萜类化合物是重要的昆虫拒食剂类型。研究采用叶碟浸液法测试松节油、羟基香茅醛、薄荷醇及其衍生合成的多个系列的萜类化合物对蔬菜害虫萝卜蚜 (*Lipaphis erysimi*) 的拒食活性。结果显示,当质量浓度为 10 mg/mL 时 24 h 后有 22 种化合物的拒食率高于 75%。其中诺卜醇、内型异茨烷基甲醇乙酸酯、4-(1-甲基乙烯基)-1-环己烯-1-乙醇丙酸酯、诺卜甲基醚、8-羟基别二氢葛缕醇、薄荷醇、8-羟基别二氢葛缕醇甲酸酯、8-羟基别二氢葛缕醇乙酸酯、8-羟基别二氢葛缕醇丙酸酯、羟基香茅醛乙基醚、蒎酮酸甲酯等 11 种化合物的拒食率达到 100%。当浓度为 1 mg/mL 时,这些化合物的拒食活性出现了较大的差别,其中 2 个化合物即内型异茨烷基甲醇丙酸酯和内型 1-异茨烷基-3-己醇乙酸酯的拒食活性最高,且持效性较好。系列等比浓度测试结果显示,内型 1-异茨烷基-3-己醇乙酸酯的剂量-活性回归方程的坡度值在 12, 24, 36, 48, 72 h 为 0.47~1.72,拒食中浓度(AFC₅₀)为 4.0~12.1 mg/mL。8 号化合物(内型异茨烷基甲醇丙酸酯)的坡度值为 1.08~2.91, AFC₅₀ 为 2.6~7.0 mg/mL,表现出良好的正向剂量活性效应和持效性,是一种具有应用前景的蚜虫拒食剂。

关键词:萜类化合物;萝卜蚜;拒食活性

中图分类号:Q541;S481^{+.1} 文献标识码:A 文章编号:1000-2286(2010)01-0078-07

Screening of Aphid Antifeedant from Terpenoid Compounds

HAN Zhao-Jiu¹, ZHENG Wei-qing^{1,2}, JIANG Zhi-kuan¹,
QIAN Wan-hong¹, WANG Zong-de², CHEN Jin-zhu²

(1. Military Medical Institute of Nanjing Command, Nanjing 210002, China; 2. Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: Terpenoid compounds are important chemicals in insect antifeedants. In this study, the antifeedant activities of turpentine oil, hydroxycitronellal, menthol and their derivatives synthesized in a project against turnip aphid *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach), were tested using the method of dipped leaf discs. 22 compounds showed antifeedant activities more than 75% 24 h after the treatment at the concentration of 10 mg/mL, and eleven of which, i. e. nopol, endo-isocamphanyl-methyl acetate, 4-(1-methylethylene)-1-cyclohexenyl-1-ethanol propionate, nopyl methyl ether, 8-hydroxylcarveol, menthol, 8-hydroxylcarveol formate, 8-hydroxylcarveol acetate, 8-hydroxylcarveol propionate, hydroxycitronellal ethyl ether, methyl pinonate, held the antifeedant rates as much as 100%. 15 compounds were further tested with the concentration of 1 mg/mL, and their activities were differentiated much with the antifeedant rates from 36% to 79% 24 h later. Compounds 8 and 10, namely endo-isocamphanyl-methyl propionate and endo-1-isocamphanyl-3-hexyl acetate, comprehensively held the best action and residual efficacy. The results of probit analysis

收稿日期:2009-08-29 修回日期:2009-12-09

基金项目:江苏省自然科学基金资助项目(BK2005003)、江西省自然科学基金资助项目(2007GZN0262)、江西省教育厅项目(GJJ08182)和江西省青年科学家(井冈之星)培养对象计划资助项目

作者简介:韩招久(1968-),男,研究员,博士,主要从事有害生物防治研究, E-mail:zhaojiuh@yahoo.com.cn。

showed that the slopes of dosage – action linear regression of compound 8 varied from 1.08 to 2.91; AFC_{50} s were from 2.6 mg/mL to 7.0 mg/mL at the observation time points of 12 h, 24 h, 36 h, 48 h and 72 h after treatment. The slopes of compound 10 varied from 0.47 to 1.72; AFC_{50} s were from 4.6 mg/mL to 12.2 mg/mL. It is suggested that endo – isocamphanyl – methyl propionate would be a promising antifeedant in aphid control.

Key words: terpenoid compounds; *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach); antifeedant efficacy

在我国的很多地区,蚜虫已对多种杀虫剂产生了抗性,包括有机磷类、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯类和新烟碱类杀虫剂^[1]。抗药性的迅速发展,不仅使害虫防治工作面临困境,而且还会引发环境问题和农产品安全问题。

昆虫拒食剂在害虫防治中有重要的作用,其作用机理与传统杀虫剂不同,具有安全、对环境友好、不易产生抗性的特点^[2]。昆虫拒食剂的作用主要是保护,而传统的杀虫剂则是杀灭。因此,使用拒食剂更贴切植物保护工作的出发点。植物在与昆虫的长期协同进化过程中形成了多种代谢途径以产生具有拒食功能的次生代谢物质,因此从植物中提取分离具有昆虫拒食活性的物质,是拒食剂研究的一个重要思路。

萜类化合物是重要的昆虫拒食剂类型。松节油是世界上产量最大的植物精油。我国松节油资源丰富,年产量约有 10 万 t,但是我国松节油的深加工利用率却不足 35%,在深加工比例与产品品种上与发达国家相距甚远^[3]。松节油的主要组分 α -蒎烯和 β -蒎烯具有良好的化学反应性能,能通过适宜的化学反应得到萜类化合物^[4]。松节油中也含有萜类物质^[5],且本身对某些昆虫具有拒食活性^[6]。

本研究测试了以松节油等天然林资源为原料衍生合成的多个系列的萜类化合物对萝卜蚜 [*Lipaphis erysimi* (Kaltenbach)] 的拒食活性,以期筛选出具有高活性的拒食剂,丰富蚜虫防治的药剂选择和策略选择。

1 材料与方法

1.1 试虫

萝卜蚜采自南京市江苏省农科院内的菜地,在昆虫饲养室以甘蓝叶作为寄主植物进行饲养,直至试验。昆虫饲养室条件:温度(25 ± 2) °C,相对湿度(65 ± 5)%,光照条件为 L:D = 16:8。

1.2 供试化合物

实验中共使用 35 种萜类化合物(表 1)均由项目组成员在江西农业大学以松节油、羟基香茅醛、薄荷醇为原料进行分离和合成。

1.3 样品配制

所有样品均以无水乙醇配制质量浓度为 100 mg/mL 的原液,然后用含 $\rho = (\text{Tween} - 20) = 5\%$ 的水溶液将各个样品稀释成不同浓度进行测试。

1.4 效果观察

用口径为 1.5 cm 手动打孔器将甘蓝叶片裁成叶碟,挑选大小相同、厚度均匀一致的叶碟,分别置于处理溶液和对照溶剂 [$\rho = (\text{Tween} - 20) = 5\%$ 的水溶液] 中浸渍 5 s 后取出并转移到干燥滤纸上,自然晾干。把晾干的叶碟置于内垫湿润滤纸、直径为 9 cm 的培养皿内,对照和处理叶碟各四片,交叉“十”字排列。然后将 20 ~ 30 头蚜虫引入培养皿中央,分别于不同时间观察蚜虫状况,并记录蚜虫在处理或对照叶碟上的分布情况。

1.5 数据处理

$$\text{拒食率} = [(C - T) / (C + T)] \times 100\% \quad (1)$$

(1) 式中, C 表示对照叶碟上蚜虫数量, T 表示处理叶碟上蚜虫数量。用 Excel 2003 建立数据库, POLO 1.0 和 DPS 9.50 软件进行生物统计学分析。

表 1 用于筛选的萜类化合物

Tab. 1 Terpenoid compounds screened in the study

编号 No.	分子式 Molecular formula	分子量 Molecular weight	名称 Name	结构式 Structure	含量/% Content
2	C ₁₁ H ₁₈ O	166	诺卜醇 Nopol		98.7
3	C ₁₃ H ₂₂ O	194	诺卜乙基醚 Nopyl ethyl ether		94.2
4	C ₁₄ H ₂₄ O	208	诺卜丙基醚 Nopyl propyl ether		94.1
5	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	208	乙酸诺卜酯 Nopyl acetate		96.7
6	C ₁₄ H ₂₂ O ₂	222	丙酸诺卜酯 Nopyl propionate		98.9
7	C ₁₃ H ₂₂ O ₂	210	内型异茨烷基甲醇乙酸酯 Endo-isocamphanyl-methyl acetate		85.2
8	C ₁₄ H ₂₄ O ₂	224	内型异茨烷基甲醇丙酸酯 Endo-isocamphanyl-methyl propionate		85.6
9	C ₁₇ H ₃₀ O ₂	266	内型 1-异茨烷基-3-戊醇乙酸酯 Endo-1-isocamphanyl-3-pentyl acetate		62.6
10	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280	内型 1-异茨烷基-3-己醇乙酸酯 Endo-1-isocamphanyl-3-hexyl acetate		86.2
11	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280	内型 4-异茨烷基-3-乙基-2-丁醇乙酸酯 Endo-4-isocamphanyl-3-ethyl-2-butyl acetate		94.7
12	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	208	4-(1-甲基乙烯基)-1-环己烯-1-乙醇乙酸酯 4-(1-Methylethylene)-1-cyclohexenyl -1-ethol acetate		96.3
13	C ₁₄ H ₂₂ O ₂	222	4-(1-甲基乙烯基)-1-环己烯-1-乙醇丙酸酯 4-(1-Methylethylene)-1-cyclohexenyl -1-ethol propionate		94.2
14	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	198	乙酸薄荷酯 Menthyl acetate		99.3
15	C ₁₃ H ₂₄ O ₂	212	丙酸薄荷酯 Menthyl propionate		99.1
16	C ₁₂ H ₂₀ O	180	诺卜甲基醚 Nopyl methyl ether		95.2
17	C ₁₂ H ₁₈ O	178	甲酸诺卜酯 Nopyl formate		90.5
18	C ₁₀ H ₁₆ O	152	2, 3-环氧蒎烷 2, 3- Epoxypinane		80.0

续表 1 用于筛选的萜类化合物

Tab. 1 Terpenoid compounds screened in the study

19	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	8-羟基别二氢葛缕醇 8-Hydroxylcarveol		97.4
20	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172	羟基香茅醛 Hydroxycitronellal		76.0
21	C ₁₀ H ₁₈ O	154	芳樟醇 Linalool		99.0
22	C ₁₀ H ₂₀ O	156	薄荷醇 Menthol		96.0
23	C ₁₁ H ₁₈ O ₃	198	8-羟基别二氢葛缕醇甲酸酯 8-Hydroxylcarveol formate		89.3
24	C ₁₂ H ₂₀ O ₃	212	8-羟基别二氢葛缕醇乙酸酯 8-Hydroxylcarveol acetate		92.0
25	C ₁₃ H ₂₂ O ₃	226	8-羟基别二氢葛缕醇丙酸酯 8-Hydroxylcarveol propionate		88.0
26	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	羟基香茅醛乙基醚 Hydroxycitronellal ethyl ether		89.0
27	C ₁₃ H ₂₄ O ₂	212	羟基香茅醛丙酸酯 Hydroxycitronellal propionate		70.0
28	C ₁₂ H ₂₆ O ₃	218	羟基香茅醛二甲醇缩醛 Hydroxycitronellal dimethyl acetal		89.8
29	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	216	羟基香茅醛乙二醇缩醛 Hydroxycitronellal ethanediol acetal		90.2
30	C ₁₃ H ₂₆ O ₃	230	羟基香茅醛 1, 3-丙二醇缩醛 Hydroxycitronellal 1, 3-propanediol acetal		80.96
31	C ₁₃ H ₂₆ O ₃	230	羟基香茅醛 1, 2-丙二醇缩醛 Hydroxycitronellal 1, 2-propanediol acetal		92.2
32	C ₁₁ H ₁₈ O ₃	198	蒎酮酸甲酯 Methyl pinonate		97
33	C ₁₂ H ₂₀ O ₃	212	蒎酮酸乙酯 Ethyl pinonate		98.2
34	C ₁₀ H ₁₆	136	α-蒎烯 α-Pinene		纯品
35	C ₁₀ H ₁₆	136	β-蒎烯 β-Pinene		纯品
36	C ₁₀ H ₁₆	136	松节油 Turpentine oil		

2 结 果

2.1 高浓度萜类化合物的拒食活性

为了快速筛选这些化合物的拒食活性,先以较高质量浓度即 10 mg/mL 进行测。结果显示,各种化合物对蚜虫表现出的拒食活性差异很大(表 2) 24 h 拒食率为 -33% ~ 100%。所测试的萜类化合物包含了比较丰富的结构特征 根据骨架结构包含了四元环、六元环、桥环、开链类 根据官能团则包含了酯、醚、醛、醇、烃类等。结构的多样性可能导致其拒食活性的差异性。有的化合物表现出了较高的拒食活性 24 h 拒食率为 100% 的有 11 种,包括 2、7、13、16、19、22、23、24、25、26、32 等,即诺卜醇、内型异茨烷基甲醇乙酸酯、4-(1-甲基乙烯基)-1-环己烯-1-乙醇丙酸酯、诺卜甲基醚、8-羟基别二氢葛缕醇、薄荷醇、8-羟基别二氢葛缕醇甲酸酯、8-羟基别二氢葛缕醇乙酸酯、8-羟基别二氢葛缕醇丙酸酯、羟基香茅醛乙基醚、蒎酮酸甲酯等的拒食率达到 100%。为了进一步区分活性较高化合物的拒食活性,将其中 15 个化合物稀释为 1 mg/mL,进一步进行生测试验。

表 2 高质量浓度(10 mg/mL)萜类化合物对蚜虫的拒食活性

Tab. 2 The antifeedant activities of terpenoid compounds at high mass concentration (10 mg/mL) against *Lipaphis erysimi*

样品编号 No. of compounds	不同时间拒食率/% Antifeedant rate			样品编号 No. of compounds	不同时间拒食率/% Antifeedant rate		
	24 h	48 h	72 h		24 h	48 h	72 h
2	100	71	100	20	50	100	
3	70	62	44	21			
4	83	81	87	22	100	100	91
5				23	100	64	45
6	60	100	100	24	100	91	100
7	100	100	100	25	100	100	100
8	79	92	81	26	100	68	100
9	86	83	81	27	87	83	54
10	86	76	88	28			
11	65	46	71	29	78	100	100
12	86	91	100	30	78	50	100
13	100	100	82	31	59	85	70
14	54	-8	-16	32	100	100	100
15	90	82	33	33	43	11	-10
16	100	100	100	34	-33	23	-20
17	77	52	39	35	-6	9	14
18	74	70	89	36	78	75	67
19	100	85	100				

2.2 低浓度萜类化合物的拒食活性

当测试质量浓度为 1 mg/mL 时,化合物的拒食活性出现了明显的差异(表 3)。24 h 拒食率最高的为 79% (8 号化合物),最低仅为 -56% (36 号化合物)。编号为 8、10 的萜类化合物在质量浓度为 1 mg/mL 时,仍表现出较强的拒食活性,其在 24 h、48 h 时,拒食率均高达 60%。8 号、10 号化合物,即内型异茨烷基甲醇丙酸酯、内型 1-异茨烷基-3-己醇乙酸酯的拒食活性表现出明显的持效性 24 h、48 h、72 h 时,拒食率为 56% ~ 86%,是很有希望的拒食剂。为了获得更加详细的拒食活性参数,对这两个化合物进行系列等比浓度重复试验(3 次)。

表 3 低质量浓度(1 mg/mL)萜类化合物对蚜虫的拒食活性

Tab. 3 The antifeedant activities of some terpenoid compounds at the mass concentration of 1 mg/mL against *Lipaphis erysimi*

样品编号 No. of compounds	不同时间拒食率/% Antifeedant rate			样品编号 No. of compounds	不同时间拒食率/% Antifeedant rate		
	24 h	48 h	72 h		24 h	48 h	72 h
2	79	23	-24	23	-16	-7	4
4	31	19	-9	24	-27	50	-11
7	19	11	50	25	20	3	5
8	79	80	56	26	21	3	-8
10	67	86	60	27	8	8	17
13	30	40	8	32	63	20	4
16	0	9	9	36	-56	-37	-35
22	21	12	17				

2.3 编号 8、10 两个化合物的拒食活性参数

系列等比浓度结果计算的参数显示(表 4 表 5) 8 号萜类化合物(内型异莰烷基甲醇丙酸酯)在各个观察时段,回归方程的坡度值均大于 1,表明具有良好的正向剂量-活性关系,5 个观察时间点的相关系数均大于 0.9,分别为 0.940、0.977、0.990、0.955 和 0.989。8 号化合物还表现出了较好的持效性,各观察时点的拒食中质量浓度(AFC₅₀)从 12~48 h 无明显下降。10 号化合物(内型 1-异莰烷基-3-己醇乙酸酯)亦表现出正向剂量-活性关系,但回归方程的坡度值较小,特别是在 24、48 h 时的坡度值均小于 1,表明活性随剂量增加的幅度较低;5 个观察时间点的相关系数分别为 0.947、0.950、0.980、0.863、0.896。

表 4 内型异莰烷基甲醇丙酸酯(8 号化合物)对蚜虫拒食活性参数

Tab. 4 The antifeedant action parameters of endo-isocamphanyl-methyl propionate(compound 8)

观察时间/h Observing time points	坡度 ± 标准误 Slop ± Se	相关系数 Related coefficient	拒食中浓度(95%置信限)	拒食 99% 浓度(95%置信限)
			/(mg · mL ⁻¹) AFC ₅₀ (95% credible limits)	/(mg · mL ⁻¹) AFC ₉₉ (95% credible limits)
12	1.087 ± 0.141	0.940	3.151(2.332 ~ 4.032)	434.951(168.765 ~ 2106.406)
24	2.346 ± 0.184	0.977	3.484(2.178 ~ 5.216)	34.186(16.135 ~ 228.823)
36	1.479 ± 0.154	0.990	4.525(3.819 ~ 5.339)	109.184(66.176 ~ 222.181)
48	1.479 ± 0.154	0.955	2.657(0.926 ~ 4.575)	99.375(28.667 ~ 9734.582)
72	2.910 ± 0.215	0.989	7.075(5.280 ~ 9.704)	44.566(25.242 ~ 142.565)

表 5 内型 1-异莰烷基-3-己醇乙酸酯(10 号化合物)对蚜虫拒食活性参数

Tab. 5 The antifeedant action parameters of endo-1-isocamphanyl-3-hexyl acetate (compound 10)

观察时间/h Observing time points	坡度 ± 标准误 Slop ± Se	相关系数 Related coefficient	拒食中质量浓度(95%置信限)	拒食 99% 质量浓度(95%置信限)
			/mg · mL ⁻¹ AFC ₅₀ (95% credible limits)	/mg · mL ⁻¹ AFC ₉₉ (95% credible limits)
12	1.141 ± 0.142	0.947	4.671(2.923 ~ 7.270)	510.46(120.69 ~ 18288)
24	0.596 ± 0.135	0.950		
36	1.144 ± 0.141	0.980	5.340(4.223 ~ 6.801)	576.775(223.649 ~ 2685.730)
48	0.479 ± 0.134	0.863	12.170(6.942 ~ 45.077)	
72	1.718 ± 0.157	0.896		

2.4 构效分析

从测试活性的结果可以看出,萜类化合物对萝卜蚜的拒食活性较为复杂。测试质量浓度为 10 mg/mL

时 24 h 拒食率大于 75% 的 22 个化合物中 根据官能团不同,包括醇类 3 个(2,19,22 号化合物) 醚类 3 个(4,16,26 号化合物) 醛类 3 个(29,30,32 号化合物) 酯类 12(7,8,9,10,12,13,15,17,23,24,25,27 号化合物);根据分子基本结构不同,包括四元环化合物 1 个(32 号化合物) 六元环化合物 8 个(12,13,15,19,22,23,24,25 号化合物) 桥环类化合物 8 个(2,4,7,8,9,10,16,17) 开链类 3 个(26,27,29,30)。此外 根据合成的起始化合物还包括薄荷醇衍生物、诺卜醇衍生物、香茅醛衍生物等。综合拒食活性与持效性都比较突出的则是 8、10 号化合物,即内型异莰烷基甲醇丙酸酯、内型 1-异莰烷基-3-己醇乙酸酯均属于桥环酯类,显示这类化合物在研究开发蚜虫拒食剂领域的优势与潜力。萜类化合物结构与拒食活性的复杂性,虽然增加了研究工作的难度与不确定性,但是也增加了针对不同昆虫筛选出特异拒食剂的可能性,拓宽了筛选化合物的范围。随着研究的深入,如合成化合物种类的增加,测试昆虫种类的丰富,将有可能根据需要,筛选出或高效广谱、或高效特异的萜类昆虫拒食剂。萜类化合物对昆虫拒食作用的特点也体现在对小菜蛾幼虫的拒食活性上^[7]。

3 讨 论

化学杀虫剂在防治蚜虫中起到了重要作用,然而频繁、大规模地使用化学农药,不仅导致蚜虫产生抗药性,而且加大了蚜虫防治的难度。

昆虫拒食剂通过作用于昆虫外周神经系统而抑制昆虫取食,从而达到防治与保护的目。与传统杀虫剂大多作用于中枢神经系统不同,因而具有对人畜安全、环境友好的特点。拒食剂可单独使用,也可与其他防治药剂联合使用。在实际应用中,可采取“拒、诱、杀”(push-pull-kill)策略,即在大部分区域喷洒拒食剂驱赶害虫,保留很少的区域不喷洒拒食剂作为诱集区域。待诱集区域害虫达到一定密度时,喷洒合适的杀虫剂。这样杀虫剂的药量以及喷洒区域都大为减少,提高农产品的安全性,降低环境风险^[8]。这一策略已经在一些森林害虫和农业害虫的防治工作中进行了尝试,并取得了成功,在控制害虫的密度和分布方面明显优于单一采用某一类型药剂的效果^[9]。

国内目前有关昆虫拒食剂的研究工作大多是对植物提取物拒食活性的研究。其中也发现了一些对蚜虫有拒食活性的植物提取物,如马齿苋不同有机溶剂提取物^[10]、红蓼的甲醇提取物^[11]。由于较少或难于对植物提取物昆虫拒食剂进行成分的分离、鉴定,产品难于工业化和标准化等,影响了深入的研究和实际应用。

通过生物测定确定植物物质中有生物活性的物质,对这些物质进行人工化学合成并对个别化合物有针对性的修饰,可以获得大量有生物活性的物质,同时也能更好地评价效果剂量关系。本试验所有的萜类化合物均由项目组在江西农业大学植物天然产物与林产化工研究所松节油等天然萜类林特资源为原料合成所得,试验结果表明,编号为 8,10 的萜类化合物,即内型异莰烷基甲醇丙酸酯、内型 1-异莰烷基-3-己醇乙酸酯对蚜虫具良好的拒食活性,并且持效性强,具有作为蚜虫拒食剂加以开发利用的前景。

参考文献:

- [1] 张乃芹,于凌春,王明友,等. 小麦蚜虫抗药性现状及综合治理策略[J]. 江西农业学报, 2007, 19(8): 50-52.
- [2] Edwin A, Klein G, Ben J M J, et al. Insect antifeedant activity of clerodane diterpenes and related model compounds[J]. Phytochemistry, 2002, 61(7): 737-770.
- [3] 王宗德,宋湛谦. 松节油合成香料的研究现状[J]. 精细与专用化学品, 2003, 11(12): 3-5.
- [4] 王宗德,姜志宽,宋湛谦. 萜类驱避剂的研究与合成分析[J]. 中华卫生杀虫药械, 2004, 8(1): 37-40.
- [5] 赵振东,刘先章. 松节油的精细化学利用Ⅷ[J]. 林产化工通讯, 2002, 36(2): 37-42.
- [6] 秦玉洁,吴伟坚,黄寿山,等. 几种精油对瓜绢野螟拒食作用的研究[J]. 植物保护, 2001, 27(6): 4-6.
- [7] 韩招久,王宗德,姜志宽,等. 萜类化合物对小菜蛾幼虫的拒食活性[J]. 昆虫知识, 2007, 44(6): 863-867.
- [8] Forster S P, Harris M O. Behavioral manipulation methods for insect pest management[J]. Annu Rev Entomol, 1997, 42: 123-46.
- [9] Cook S M, Khan Z R, Pickett J A. The use of push-pull strategies in integrated pest management[J]. Annu Rev Entomol, 2007, 41: 533-49.
- [10] 苏茂文,罗万春,张俊燕,等. 马齿苋干粉提取物对棉蚜的毒杀和拒食活性[J]. 植物资源与环境学报, 2005, 14(2): 10-14.
- [11] 李秀岚,李友莲. 红蓼提取物对桃蚜拒食活性及触角电位的研究[J]. 山西农业大学学报, 2005, 14(2): 10-14.