

苦瓜茎叶中葫芦烷三萜化合物对小菜蛾幼虫的拒食作用

向亚林^{1,2}, 凌冰¹, 王国才³, 罗集丰^{1,2}, 张茂新¹

(1 华南农业大学 昆虫生态研究室, 广东 广州 510642; 2 揭阳职业技术学院, 广东 揭阳 522000;
3 暨南大学 中药及天然药物研究所, 广东 广州 510632)

摘要:采用叶碟法测定了苦瓜茎叶乙醇提取物对小菜蛾 *Plutella xylostella* 幼虫的拒食活性. 从苦瓜叶乙醇提取物中分离得到3种葫芦烷三萜化合物, (19*S*, 23*E*)-5 β , 19-epoxy-19-methoxy-cucurbita-6, 23-diene-3 β , 25-diol (化合物1)、(19*R*, 23*E*)-5 β , 19-epoxy-19-methoxycucurbita-6, 23-diene-3 β , 25-diol (化合物2) 和 3 β , 7 β , 25-trihydroxycucurbita-5, 23-dien-19-al-3-*O*- β -*D*-glucopyranoside (化合物3). 生测结果表明, 它们对小菜蛾幼虫的取食有明显的抑制作用. 3种化合物($\rho = 1\ 000\ \mu\text{g/mL}$)分别处理甘蓝叶碟后饲喂小菜蛾2龄幼虫, 12 h后, 化合物1、化合物2和化合物3在选择性试验中的拒食率分别为80.63%、63.26%和77.57%, 在非选择性试验中的拒食率分别为77.88%、55.40%和73.01%.

关键词: 苦瓜; 葫芦烷三萜化合物; 小菜蛾; 拒食活性

中图分类号: S482

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2009)03-0013-05

Antifeeding Activity of Cucurbitane Triterpenoid from *Momordica charantia* Leaves to *Plutella xylostella*

XIANG Ya-lin^{1,2}, LING Bing¹, WANG Guo-cai³, LUO Ji-feng^{1,2}, ZHANG Mao-xin¹

(1 Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Jieyang Vocational and Technical College, Jieyang 522000, China;

3 Institute of Traditional Chinese Medicine & Natural Products, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: The antifeeding activity of ethanol extracts from leaves and stem of *Momordica charantia* to *Plutella xylostella*, diamondback moth (DBM) larvae was determined. Three compounds were identified to be (19*S*, 23*E*)-5 β , 19-epoxy-19-methoxy-cucurbita-6, 23-diene-3 β , 25-diol (compound 1), (19*R*, 23*E*)-5 β , 19-epoxy-19-methoxycucurbita-6, 23-diene-3 β , 25-diol (compound 2) and 3 β , 7 β , 25-trihydroxycucurbita-5, 23-dien-19-al-3-*O*- β -*D*-glucopyranoside (compound 3). The bioassay results indicated that these compounds had a high anti-feeding activity to DBM. The feeding deterrent index of these compounds at concentration of 1 000 $\mu\text{g/mL}$ against 2nd-instar larvae of DBM were 80.63%, 63.26% and 77.57% in choice test at 12 h after treatment, and 77.88%, 55.40% and 73.01% in no-choice test at 12 h, for compound 1, compound 2 and compound 3, respectively.

Key words: *Momordica charantia*; cucurbitane triterpenoid; *Plutella xylostella*; antifeeding activity

植食性昆虫对非寄主植物不选择的重要原因之一是这些植物能产生忌避和抑制昆虫产卵、取食、生长发育或中毒死亡的次生物质^[1]. 研究和开发非寄主植物中抑制害虫产卵和取食行为的次生物质, 为控制害虫种群提供多样的、安全有效的、具有新的作用机制的方法, 对延缓和阻止害虫抗药性的发展有

着重要意义^[2-6]. 小菜蛾 *Plutella xylostella* 是世界性分布重要害虫^[7-8], 主要取食十字花科蔬菜, 由于长期大量地使用化学杀虫剂防治, 使其对多数种类的杀虫剂产生了抗性, 致使防治越来越困难, 农药残留、环境污染越来越严重^[9-10]. 因此, 迫切需要开发安全、高效、低毒的新型生物制剂. 许多非寄主植物次

收稿日期: 2008-10-28

作者简介: 向亚林(1978—), 男, 硕士; 通讯作者: 张茂新(1957—), 男, 教授, 博士, E-mail: mxzhang@scau.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金(30871646, 30571224); 揭阳职业技术学院科研基金(JYCKY0507)

生物质对小菜蛾的产卵和取食有明显的抑制作用^[8,11-16]. 苦瓜 *Momordica charantia* 作为人们喜食的蔬菜品种,在我国有着悠久的栽培历史.近年来的研究表明,苦瓜叶片提取物对多种害虫的取食、生长发育和存活有明显的抑制作用^[16-18]. 陈宏等^[19]研究表明,苦瓜叶片提取物对小菜蛾幼虫的取食、生长速率和存活率有显著的影响.本研究采用活性跟踪的方法,分离鉴定了苦瓜茎叶乙醇提取物中对小菜蛾幼虫取食有抑制作用的3种葫芦烷型四环三萜类化合物.

1 材料与方法

1.1 材料

苦瓜 *Momordica charantia* L. 茎叶,采自华南农业大学试验农场.新鲜甘蓝 *Brassica oleracea* L. var. *capitata* 叶片,采自华南农业大学昆虫生态研究室温室.从田间采集小菜蛾 *Plutella xylostella* L. 大龄幼虫或蛹,在室内用甘蓝苗饲养2~3代后,作为供试虫源.

1.2 方法

1.2.1 四环三萜类化合物的提取、分离 将苦瓜茎叶采集后洗净、切碎,晾干,用 $\varphi=95\%$ 工业乙醇连续浸取3次,每次24 h,合并提取液并减压抽滤.先用多功能提取器进行初步浓缩,再经过旋转蒸发仪减压浓缩得苦瓜乙醇提取膏状物.称取500 g乙醇提取物,用水溶解后依次用环己烷、乙酸乙酯、正丁醇进行萃取,将不同溶剂萃取液和剩余的水溶液分别用旋转蒸发仪减压浓缩成膏状物,得环己烷萃取物、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物和水萃取物.测定它们对小菜蛾幼虫的拒食率,发现乙酸乙酯萃取物的抑制作用最强.因此,进一步对乙酸乙酯萃取物中的活性成分进行了分离、纯化和活性测定.

对乙酸乙酯萃取物进行反复硅胶(100~200目)柱层析.采用氯仿和甲醇的混合洗脱液进行梯度洗脱, $V(\text{氯仿}):V(\text{甲醇})$ 依次为100:1、100:2、100:4、100:6、100:8、100:13、100:20、100:100.分离出来的3种化合物均用甲醇进行重结晶.然后采用核磁共振谱(NMR)、质谱(MS)和红外光谱(IR)等方法结合文献资料进行结构鉴定.

1.2.2 提取物对小菜蛾成虫产卵行为的影响 苦瓜茎叶乙醇提取物及其萃取物用少量乙醇溶解后,再用 $\varphi=0.2\%$ 的吐温80水溶液配制成所需浓度.选取长势良好,大小基本一致,3叶期盆栽甘蓝苗供试.用毛笔将不同提取物药液均匀涂抹在甘蓝叶片的正反面,以加少量乙醇的 $\varphi=0.2\%$ 吐温80水溶液作对照.待其溶剂自然挥发后,放入养虫笼内.非选择性

试验每笼放入同一处理苗6株,选择性试验每笼放入处理和对照苗各3株.每笼接入1~2日龄小菜蛾成虫5对让其产卵,以棉球蘸 $\varphi=10\%$ 的蜂蜜水为成虫补充营养.每处理重复3次.于处理24和48 h调查统计各处理苗上的着卵量.按下式计算产卵忌避率.

非选择性试验:

$$\text{产卵忌避率} = \frac{\text{对照着卵量} - \text{处理着卵量}}{\text{对照着卵量}} \times 100\%,$$

选择性试验:

$$\text{产卵忌避率} = \frac{\text{对照着卵量} - \text{处理着卵量}}{\text{对照着卵量} + \text{处理着卵量}} \times 100\%.$$

1.2.3 提取物对小菜蛾幼虫取食行为的影响 采用叶碟法,供试药液的配置同1.2.2.选择厚度均匀的甘蓝叶片,用打孔器($d=1.7\text{ cm}$)制备甘蓝叶碟.用毛笔将不同提取物药液均匀涂抹在甘蓝叶碟的正反面,以 $\varphi=0.2\%$ 加少量乙醇的吐温80水溶液作对照.待其溶剂自然挥发后,放入垫有湿润滤纸的培养皿($d=9\text{ cm}$)中.在非选择性试验中,每个培养皿中放入同一处理叶碟2片;在选择性试验中,每个培养皿中交叉放入处理和对照叶碟各2片.每个培养皿中接入小菜蛾3龄幼虫4头,每处理重复3次.于处理后24和48 h用九宫方格图板分别测量各处理小菜蛾幼虫取食的叶面积.

1.2.4 四环三萜类化合物对小菜蛾幼虫取食的影响 准确称取3种四环三萜类化合物各50 mg,用丙酮充分溶解后倒入50 mL的容量瓶中定容,得到1 000 $\mu\text{g/mL}$ 的药液.试验方法同1.2.3,接入小菜蛾2龄幼虫,于处理后12、24和36 h用九宫方格图板分别测量各处理小菜蛾幼虫取食的叶面积.按下式计算拒食率.

非选择性试验:

$$\text{拒食率} = \frac{\text{对照取食叶面积} - \text{处理取食叶面积}}{\text{对照取食叶面积}} \times 100\%,$$

选择性试验:

$$\text{拒食率} = \frac{\text{对照取食叶面积} - \text{处理取食叶面积}}{\text{对照取食叶面积} + \text{处理取食叶面积}} \times 100\%.$$

2 结果与分析

2.1 苦瓜茎叶乙醇提取物对小菜蛾成虫产卵行为的影响

从表1可以看出,无论是选择性试验还是非选择性试验,苦瓜茎叶乙醇提取物对小菜蛾成虫产卵的忌避作用都不显著,仅在较高浓度时才表现出一定的产卵忌避作用.用4 000 $\mu\text{g/mL}$ 的苦瓜茎叶乙醇提取物处理甘蓝苗后24 h,对小菜蛾成虫的产卵忌避率为21.77%~26.71%,处理后48 h的产卵忌避率仅为13.45%~16.78%.

表 1 苦瓜茎叶乙醇提取物对小菜蛾成虫的产卵忌避作用

Tab. 1 The antioviposition activity of ethanol crude from *Momordica charantia* stems and leaves to *Plutella xylostella* adults

$t_{\text{处理}}/\text{h}$	$\rho_{\text{提取物}}/(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	选择性试验			非选择性试验	
		着卵量 ¹⁾ /(粒·株 ⁻¹)		产卵忌避率/%	着卵量 ²⁾ /(粒·株 ⁻¹)	产卵忌避率/%
		处理	对照			
24	250	34.2±2.9	40.0±4.2	0.00	41.4±3.0a	0.00
	500	35.2±7.5	33.2±4.0	0.00	46.2±3.7a	0.00
	1 000	39.7±7.5	41.8±6.6	0.00	40.2±4.3ab	0.00
	2 000	37.6±6.3	41.9±5.0	0.00	38.2±2.1ab	0.00
	4 000	31.6±6.8*	54.6±8.2	26.71	35.3±1.9b	21.77
	对照				44.7±2.6a	
48	250	56.2±9.7	60.9±6.6	0.00	59.6±0.7a	0.00
	500	55.1±7.5	53.0±2.6	0.00	56.1±6.0ab	0.00
	1 000	58.9±2.8	60.3±8.5	0.00	62.5±2.9a	0.00
	2 000	77.3±5.8	75.9±6.3	0.00	58.9±3.6ab	0.00
	4 000	49.3±4.7*	69.2±6.6	16.78	54.0±2.3b	13.45
	对照				62.4±2.6a	

1) * 表示同一质量浓度下选择性试验处理与对照经 t 检验在 0.05 水平差异显著;2) 同一处理时间同列数据后具相同字母者表示经邓肯氏新复极差检验差异不显著($P=0.05$)

2.2 苦瓜茎叶提取物对小菜蛾幼虫取食行为的抑制作用

2.2.1 乙醇提取物 在选择性试验和非选择性试验中,用 1 000~4 000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的苦瓜茎叶乙醇提取物处理甘蓝叶碟后,小菜蛾幼虫的取食面积与对照相比显著减少,且随着浓度的增加对小菜蛾幼虫的

拒食作用显著增强(表 2). 在 4 000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 处理中,选择性试验和非选择性试验 24 h 的拒食率分别为 60.09% 和 46.60%,处理后 48 h 的拒食率分别为 61.38% 和 54.34%. 从表 1 和 2 的结果可以看出,苦瓜茎叶乙醇提取物对小菜蛾的影响主要表现为拒食作用.

表 2 苦瓜茎叶乙醇提取物对小菜蛾幼虫的拒食作用

Tab. 1 The antifeeding activity of ethanol crude from *Momordica charantia* stems and leaves to *Plutella xylostella* larvae

$t_{\text{处理}}/\text{h}$	$\rho_{\text{提取物}}/(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	选择性试验			非选择性试验	
		取食面积 ¹⁾ / mm^2		拒食率/%	取食面积 ²⁾ / mm^2	拒食率/%
		处理	对照			
24	250	26.59±2.70	23.66±1.72	0.00	44.83±3.25a	0.00
	500	24.30±1.82	26.70±2.49	0.00	37.48±3.63b	0.00
	1 000	12.12±1.34*	21.57±1.56	28.06	31.63±1.83c	24.53
	2 000	10.76±1.46*	26.23±2.38	41.82	28.61±1.12c	31.75
	4 000	9.37±1.63*	37.58±3.65	60.09	22.38±2.11d	46.60
	对照				41.92±2.68ab	
48	250	46.49±2.15	48.65±1.11	0.00	86.33±6.33a	0.00
	500	39.63±2.54*	45.10±1.47	6.45	87.54±2.98a	0.00
	1 000	30.31±2.13*	64.92±1.08	36.34	65.61±3.60b	29.27
	2 000	20.03±4.06*	58.67±1.59	49.11	56.46±2.82c	38.81
	4 000	18.17±1.29*	75.92±3.18	61.38	42.36±1.81d	54.34
	对照				92.76±3.51a	

1) * 表示同一质量浓度下选择性试验处理与对照经 t 检验在 0.05 水平差异显著;2) 同一处理时间同列数据后具相同字母者表示经邓肯氏新复极差检验差异不显著($P=0.05$)

2.2.2 不同溶剂萃取物 从表 3 可以看出,在非选择性试验条件下处理后 24 h 时,除水萃取物处理外,小菜蛾幼虫在其他 3 种萃取物处理上的取食面积均显著少于对照. 以乙酸乙酯萃取物的拒食作

用最强,其拒食率为 37.43%,其次是正丁醇萃取物和环己烷萃取物,拒食率分别为 22.87% 和 15.36%. 处理后 48 h 时,各处理的拒食效果均有所减弱.

表3 不同溶剂萃取物对小菜蛾幼虫的拒食作用¹⁾Tab. 3 The antifeeding activity of extracts from ethanol crude to *Plutella xylostella* larvae

萃取物	24 h		48 h	
	取食面积/mm ²	拒食率/%	取食面积/mm ²	拒食率/%
环己烷萃取物	37.38 ± 2.79 b	15.36	92.35 ± 3.24 bc	10.69
乙酸乙酯萃取物	27.63 ± 1.14 c	37.43	78.54 ± 5.83 d	24.04
正丁醇萃取物	34.06 ± 3.38 b	22.87	85.26 ± 3.86 cd	17.55
水萃取物	48.71 ± 2.26 a	0.00	98.03 ± 2.04 ab	5.19
对照	44.16 ± 4.31 a		103.41 ± 4.25 a	

1)表中同列数据后具相同字母者表示经邓肯氏新复极差检验差异不显著($P=0.05$)

2.2.3 不同质量浓度乙酸乙酯萃取物对小菜蛾幼虫取食的抑制作用 从图1可以看出,在选择性和非选择性试验条件下,乙酸乙酯萃取物在1 000 ~ 4 000 $\mu\text{g/mL}$ 时对小菜蛾2龄幼虫取食有显著的抑制作用,随着质量浓度的增加拒食作用明显增强.在选择性试验条件下,1 000、2 000、4 000 $\mu\text{g/mL}$ 处理后12 h的拒食率分别为43.24%、53.69%、90.58%;处理后24 h的拒食率分别为35.00%、42.73%、72.20%.在非选择性试验条件下,这3个质量浓度处理后12 h的拒食率分别为28.64%、45.8%、67.66%;处理后24 h的拒食率分别为32.88%、47.26%、68.89%;2 000和4 000 $\mu\text{g/mL}$ 处理后36 h的拒食率为51.59%和62.58%.从时间段来看,处理后12 h对小菜蛾2龄幼虫取食的影响最大,随着处理时间的推移拒食率也随着下降.

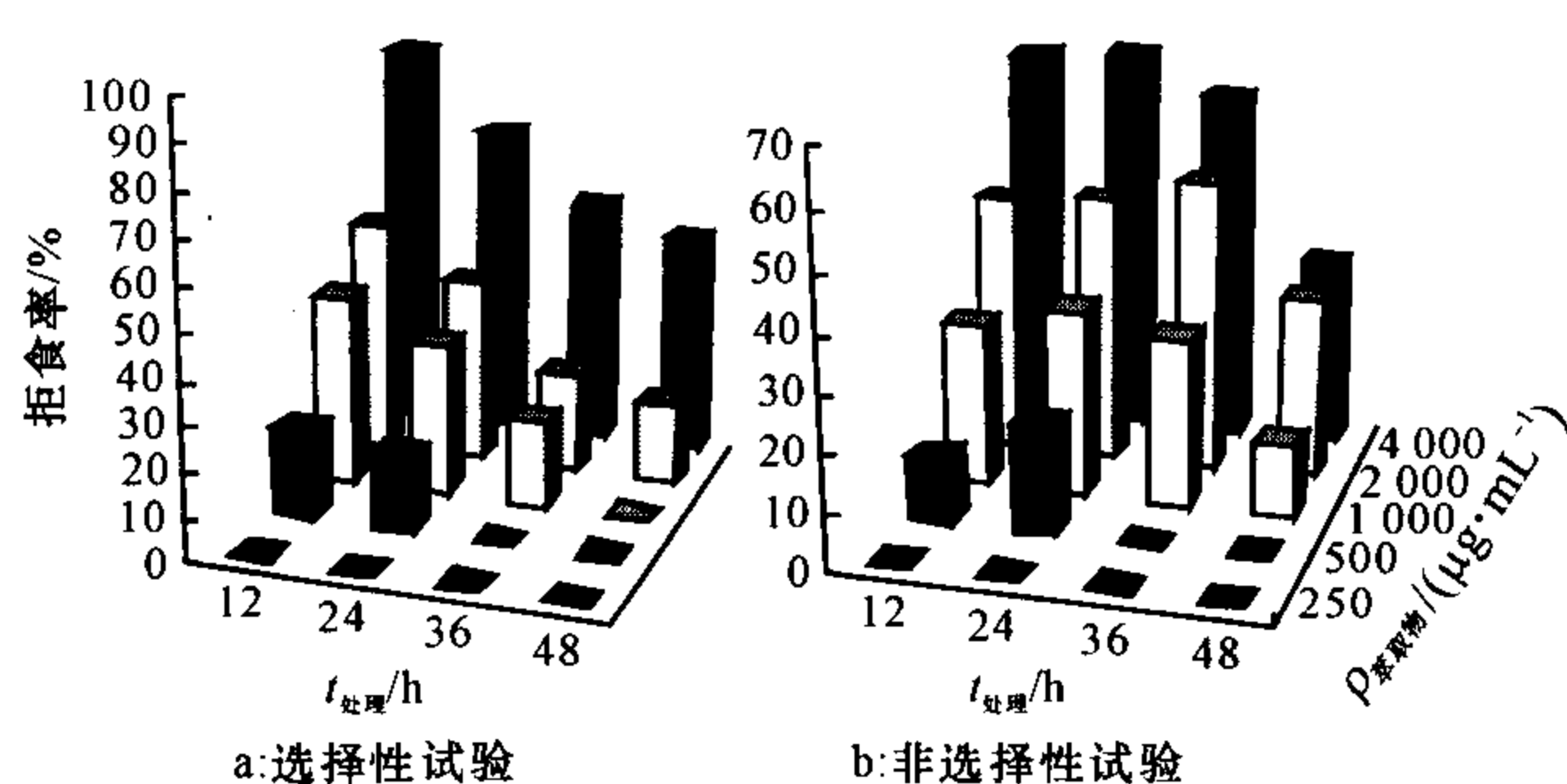


图1 不同质量浓度的乙酸乙酯萃取物对小菜蛾幼虫的拒食作用
Fig. 1 The antifeeding activity of ethyl acetate extract at different concentration to *Plutella xylostella* larvae

2.3 苦瓜茎叶中3种化合物的化学结构鉴定

苦瓜乙酸乙酯萃取物经反复硅胶柱层析得到3种白色晶体化合物,采用核磁共振谱(NMR)、质谱(MS)和红外光谱(IR)等方法结合文献资料进行了结构鉴定,确定这3种化合物均为葫芦烷型四环三萜类化合物.

化合物1:白色片状晶体(173.9 mg),易溶于甲醇、丙酮,难溶于水. m. p. 116 ~ 118 $^{\circ}\text{C}$; IR ($\nu^{\text{KBr}}_{\text{max}}$ cm^{-1}): 3 475, 2 943, 1 468, 1 373, 1 159, 1 080, 973, 924; ESI-MS 给出准分子离子峰: m/z 509 [$\text{M} + \text{Na}$]⁺, m/z 995 [$2\text{M} + \text{Na}$]⁺; 相对分子质量为486, 分子式: $\text{C}_{31}\text{H}_{50}\text{O}_4$. ^1H NMR 和 ^{13}C NMR 数据参考文献[20], 确定化合物1为(19S, 23E)-5 β , 19-epoxy-19-methoxy-cucurbita-6, 23-diene-3 β , 25-diol.

化合物2:白色片状晶体(151.9 mg),易溶于甲醇、丙酮,难溶于水. m. p. 143 ~ 145 $^{\circ}\text{C}$; IR ($\nu^{\text{KBr}}_{\text{max}}$ cm^{-1}): 3 450, 2 943, 1 649, 1 466, 1 377, 1 118, 1 080, 973, 913; ESI-MS: [$\text{M} + \text{Na}$]⁺为 m/z 509; 相对分子质量为486, 分子式: $\text{C}_{31}\text{H}_{50}\text{O}_4$; ^1H NMR 和 ^{13}C NMR 数据参考文献[21], 确定化合物2为(19R, 23E)-5 β , 19-epoxy-19-methoxycucurbita-6, 23-diene-3 β , 25-diol.

化合物3:白色结晶(175.6 mg),易溶于甲醇、丙酮,难溶于水. m. p. 200 ~ 202 $^{\circ}\text{C}$. IR ($\nu^{\text{KBr}}_{\text{max}}$ cm^{-1}): 3 388, 2 918, 1 640, 1 537, 1 468, 1 080, 964. ESI-MS: [$\text{M} + \text{Na}$]⁺为 m/z 629, 相对分子质量为634, 分子式: $\text{C}_{36}\text{H}_{58}\text{O}_9$. ^1H NMR 和 ^{13}C NMR 数据与文献[22]报道的化合物3 β , 7 β , 25-trihydroxycucurbita-5, 23-dien-19-al-3-O- β -D-glucopyranoside 完全一致.

2.4 3种化合物对小菜蛾幼虫取食的抑制作用

从苦瓜乙酸乙酯萃取物中分离得到的3种葫芦烷型四环三萜化合物在1 000 $\mu\text{g/mL}$ 时对小菜蛾2龄幼虫均具有明显的拒食作用(图2). 处理后12 h, 化合物1、化合物2和化合物3在选择性试验中的拒食率分别为80.63%、63.26%和77.57%;在非选择性试验中的拒食率分别为77.88%、55.40%和73.01%. 随着处理时间的延长拒食率均随着下降. 综合拒食率和持效性来看,3种化合物对小菜蛾幼虫的拒食作用为化合物3 > 化合物1 > 化合物2.

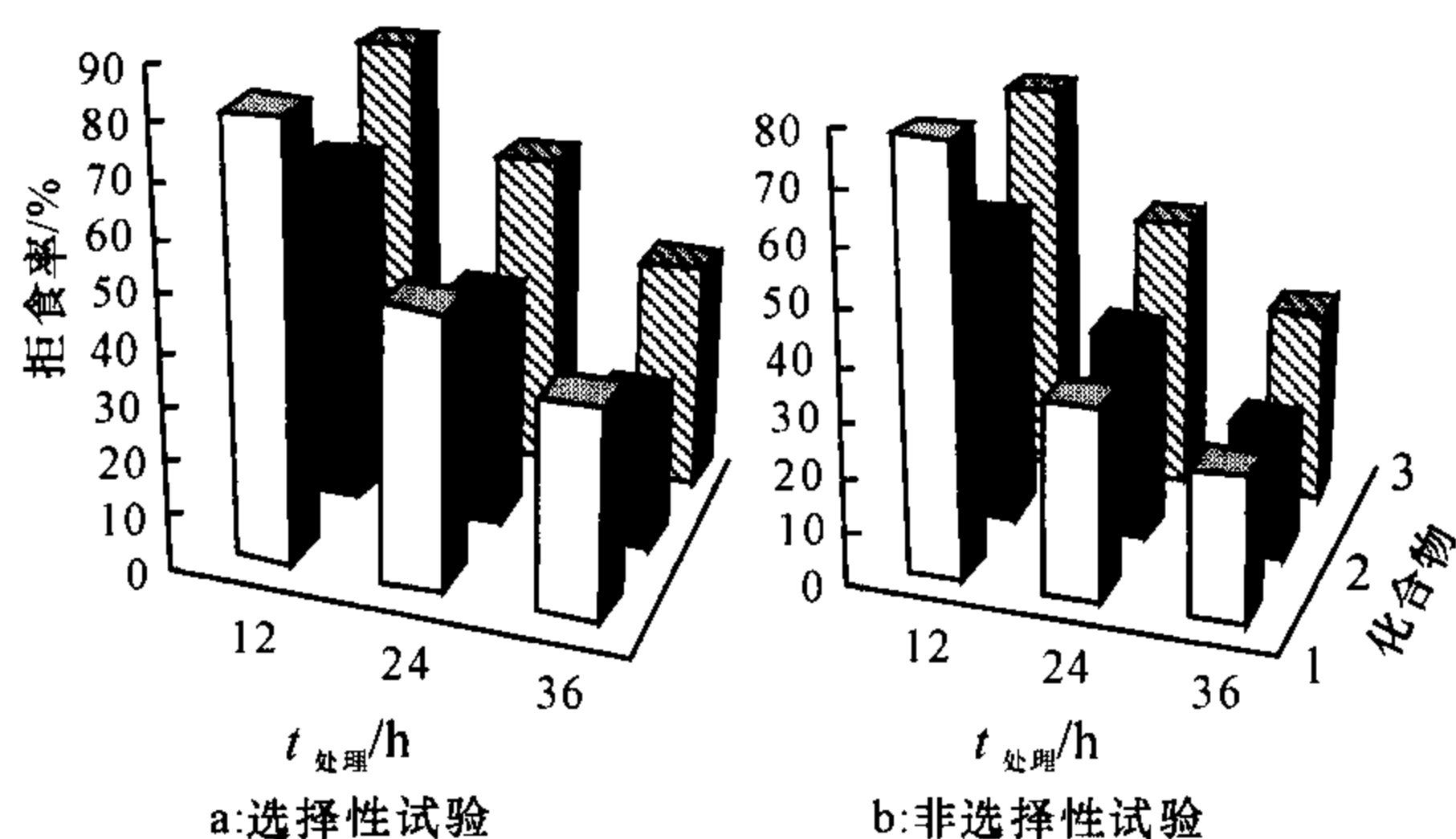


图2 3种四环三萜化合物对小菜蛾幼虫的拒食作用
Fig. 2 Antifeeding activity of three cucurbitane triterpenoid compounds to *P. xylostella* larvae

3 结论

本文测定了苦瓜茎叶乙醇提取物对小菜蛾成虫产卵和幼虫取食行为的影响, 结果表明: 苦瓜茎叶乙醇提取物对小菜蛾成虫产卵的忌避作用不显著, 仅在较高质量浓度(4 000 $\mu\text{g/mL}$)时才表现出一定的产卵忌避作用, 产卵忌避率最高为 26.71%。但苦瓜茎叶乙醇提取物对小菜蛾幼虫的取食却有着明显的抑制作用, 1 000、2 000 和 4 000 $\mu\text{g/mL}$ 质量浓度处理的拒食率分别达到 36.34%、49.11% 和 61.38%。苦瓜茎叶乙醇提取物的不同溶剂萃取物对小菜蛾幼虫的拒食作用有明显的差异, 以乙酸乙酯萃取物的拒食作用最强, 其次是正丁醇萃取物和环己烷萃取物。水萃取物处理与对照差异不显著。从乙酸乙酯萃取物中分离得到 3 种葫芦烷型四环三萜类化合物, 化合物 1 为 (19S, 23E)-5 β , 19-epoxy-19-methoxy-cucurbita-6, 23-diene-3 β , 25-diol, 化合物 2 为 (19R, 23E)-5 β , 19-epoxy-19-methoxycucurbita-6, 23-diene-3 β , 25-diol, 化合物 3 为 3 β , 7 β , 25-trihydroxycucurbita-5, 23-dien-19-al-3-O- β -D-glucopyranoside。生物测定结果表明, 这 3 种化合物对小菜蛾 2 龄幼虫均具有明显的拒食作用。以上结果表明, 正是因为苦瓜茎叶中存在着多种抑制昆虫取食的葫芦烷型四环三萜类化合物, 才使得苦瓜叶片在整个生长发育过程中很少被植食性昆虫侵害。苦瓜叶片活性物质的阐明为苦瓜叶片开发为植物保护剂提供了科学依据, 对从天然产物中发现活性先导物进而研发创新药物有重要的意义。

参考文献:

- [1] 庞雄飞. 植物保护剂与植物免害工程——异源植物次生化合物在害虫防治中的应用[J]. 世界科技研究与发展, 1999, 21(2): 24-28.
- [2] 陈巨莲, 倪汉祥, 孙京瑞, 等. 小麦几种主要次生物质对麦长管蚜几种酶活力的影响[J]. 昆虫学报, 2003, 46(2): 144-149.
- [3] 庞雄飞, 张茂新, 侯有明, 等. 植物保护剂防治害虫效果的评价方法[J]. 应用生态学报, 2000, 11(1): 108-110.
- [4] 张茂新, 凌冰, 庞雄飞. 非嗜食植物中的昆虫产卵驱避物及其利用[J]. 昆虫天敌, 2003, 25(1): 28-36.
- [5] 岑伊静, 庞雄飞, 凌冰, 等. 薇甘菊提取物对桔全爪螨的产卵驱避作用及有效组分分析[J]. 生态学报, 2004, 24(11): 2542-2547.
- [6] 邓业成, 徐汉虹. 广西地不容的杀虫活性及有效成分研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(3): 523-527.
- [7] LIU S S, CHEN F Z, ZALUCKI M P. Development and survival of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) at constant and alternating temperatures[J]. Environment Entomology, 2002, 31(2): 221-231.
- [8] LIANG G M, CHEN W, LIU T X. Effects of three neem-based insecticides on diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. Crop Protection, 2003, 22: 333-340.
- [9] SHELTON A M, WYMAN J A, CUSHING N L. Insecticide resistance of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in North America [J]. Journal of Economic Entomology, 1993, 86(1): 11-19.
- [10] TALEKAR N S. Biological control of diamond back moth in Taiwan—a review [J]. Plant Protection Bulletin, 1996, 38(3): 167-189.
- [11] 祝树德, 刘海涛, 陆自强. 番茄抽提物对小菜蛾的忌避、拒食及抑制产卵作用[J]. 华东昆虫学报, 2000, 9(1): 33-37.
- [12] 覃伟权, 凌冰, 彭正强, 等. 3 种热带植物次生物质对小菜蛾的干扰作用[J]. 植物保护学报, 2004, 31(3): 269-275.
- [13] 覃伟权, 彭正强, 凌冰. 20 种热带植物乙醇提取物对小菜蛾产卵驱避和拒食作用[J]. 热带作物学报, 2004, 25(1): 49-53.
- [14] 董易之, 张茂新, 凌冰. 马缨丹总岩茨烯对小菜蛾和斜纹夜蛾幼虫的拒食作用[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2361-2364.
- [15] CUI D J, ZHAO S H, LIU Q X. Study on the crude extracts from marigold against the oviposition of diamondback moth [J]. Pesticides, 1998, 37(6): 31-35.
- [16] 陈宏, 刘映红, 邓新平, 等. 苦瓜叶片提取液对家蚕和菜青虫取食生长和存活率的影响[J]. 西南农业学报, 1996, 9(3): 68-71.
- [17] YASUI H, KATO A, YAZAWA M. Antifeedants to armyworms, *Spodoptera litura* and *Pseudaletia sepaeta*, from bitter ground leaves, *Momordica charantia* [J]. J Chem Ecol, 1998, 24: 803-813.
- [18] ABE M, MATSUDA K. Feeding deterrents from *Momordica charantia* leaves to cucurbitaceous feeding beetles species [J]. Appl Entomol Zool, 2000, 35: 143-149.
- [19] 陈宏, 靳阳, 董华, 等. 不同浓度苦瓜叶片提取液对小菜蛾幼虫行为和存活率的影响[J]. 华北农学报, 1999, 14(4): 117-121.
- [20] MULHOLLAND D A, SEWRAM V, OSBORNE R, et al. Cucurbitane triterpenoids from the leaves of *Momordica foetida* [J]. Phytochemistry, 1997, 45: 391-395.
- [21] KIMURA Y, AKIHISA T, YUASA N, et al. Cucurbitane-type triterpenoids from the fruit of *Momordica charantia* [J]. J Nature Products, 2005, 68: 807-809.
- [22] HIKARU O, YUMI M, TATSUO Y. Studies on the constituents of *Momordica charantia* L.; IV. Characterization of the new cucurbitacin glycosides of the immature fruits [J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 1982, 30(12): 4334-4340.

【责任编辑 周志红】