

三种生物质能源植物组织的乙醇提取液 对烟粉虱生物活性的影响^{*}

周福才¹ 周桂生² 李传明¹ 杨益众¹ 钦 佩^{3**}

(¹扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏扬州 225009; ²扬州大学 江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏扬州 225009; ³南京大学盐生植物实验室, 南京 210093)

摘 要 为了探讨蓖麻、海滨锦葵等生物质能源植物组织的抽提物作为植物保护剂的可行性,用蓖麻种子、蓖麻叶片、海滨锦葵叶片等生物质能源植物组织的乙醇粗提物处理烟粉虱成虫,4、24、48、72和96 h后测定其体内的谷胱甘肽转移酶和羧酸酯酶活性,并利用Y型嗅觉仪测定烟粉虱对3种生物质能源植物组织的乙醇粗提物的嗅觉反应.结果表明:3种生物质能源植物组织的乙醇粗提物对烟粉虱谷胱甘肽转移酶和羧酸酯酶均有明显影响,随着浓度的提高,其作用增强,其中250倍液的作用与1.8%的阿维菌素3000倍液作用相当.3种提取液的250倍液对烟粉虱成虫具有明显的驱避作用,其中蓖麻种子、蓖麻叶片和海滨锦葵叶片等乙醇粗提物的驱避率分别为100.0%、96.7%和79.4%.表明蓖麻种子、蓖麻叶片和海滨锦葵叶片的乙醇粗抽提物对烟粉虱具有驱避作用和其他生物活性.

关键词 蓖麻 海滨锦葵 烟粉虱 谷胱甘肽转移酶 羧酸酯酶 嗅觉

文章编号 1001-9332(2009)03-0603-06 **中图分类号** S482.3 **文献标识码** A

Effects of alcohol extracts from three kinds of biomass energy plant tissues on biological activity of *Bemisia tabaci* ZHOU Fu-cai¹, ZHOU Gui-sheng², LI Chuan-ming¹, YANG Yi-zhong¹, QIN Pei³ (¹School of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu, China; ²Jiangsu Provincial Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu, China; ³Halophyte Research Laboratory of Nanjing University, Nanjing 210093, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2009, **20**(3): 603-608.

Abstract To test the feasibility of using raw extracts from the tissues of biomass energy plants *Ricinus communis* and *Kosteletzkya virginica* as plant protection agents, the alcohol extracts from *R. communis* seed and leaf and from *K. virginica* leaf were used to treat adult *Bemisia tabaci* by spraying. The glutathione S-transferase and carboxylesterase activities in *B. tabaci* body were measured after treated for 4 h, 24 h, 48 h, 72 h, and 96 h, and the olfaction responses of *B. tabaci* to the alcohol extracts were detected with a Y-tube olfactometer. All the three alcohol extracts obviously inhibited the glutathione S-transferase and carboxylesterase activities in a concentration-dependent manner. The inhibitory effect of the 250-times diluted alcohol extracts on the two enzyme activities was equivalent to that of 3000 times-diluted 1.8% avermectins. In addition, the 250-times diluted alcohol extracts had obvious repellent effect on *B. tabaci* with the repellent coefficient of the alcohol extracts from *R. communis* seed and leaf and from *K. virginica* leaf being 100.0%, 96.7%, and 79.4%, respectively. All of these suggested that the test three alcohol extracts had repellent and other biological effects on *B. tabaci*.

Key words *Ricinus communis*, *Kosteletzkya virginica*, *Bemisia tabaci*, glutathione S-transferase, carboxylesterase, olfaction, carboxylesterase, olfaction.

^{*} 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD09A08-03)、转基因生物新品种培育重大专项(2008ZX08012-004)、江苏省自然科学基金项目(BK2008207)和江苏省教育厅自然科学基金项目(07KJB210134)资助.

^{**} 通讯作者. E-mail: qinpei@nju.edu.cn

2008-08-29收稿, 2008-12-17接受.

昆虫与植物在长期的协同进化过程中,形成了一种相互依赖、相互适应的关系^[1],而植物次生代谢物质是维系这种关系的重要纽带.一方面,昆虫取食寄主植物后,植物可以迅速产生某些次生代谢物质建立起防卫反应^[2],导致昆虫体内代谢酶系的改变^[3],阻止昆虫的进一步取食,一些植物甚至释放次生挥发性化合物作为信号物质,引诱天敌来控制害虫,达到间接防御的目的^[4];另一方面,一些昆虫被迫取食植物次生代谢物质后,可以被诱导产生某些解毒酶,或使部分解毒酶的活性提高^[4-5],以减轻植物有毒次生代谢物质对昆虫的影响.因此,解毒酶系的改变是昆虫与寄主植物之间相互适应性改变的重要表现形式^[6],通过测定昆虫体内相关酶活性的变化,可以从生理角度检测某种植物对昆虫的作用.

蓖麻 (*Ricinus communis*)和海滨锦葵 (*Kosteletzkya virginica*)果实含油量高,是重要的生物质能源植物,同时,由于它们具有较强的耐盐碱性,适宜于沿海滩涂种植,又是重要的沿海滩涂经济植物.蓖麻粗提物中含有一种三萜烯类的蓖麻碱 (*cinine*),对多种农业害虫^[7-9]、鼠类^[10]表现出一定的生物活性,但由于多种原因,其进一步的开发利用研究进展缓慢.海滨锦葵是近几年作为生物质能源植物引入我国的,对其病虫害发生规律的系统调查发现,海滨锦葵上害虫种类和数量少,害虫种群发展缓慢,据此推测其体内可能存在某些抗虫或具有驱虫、杀虫生物活性的物质.但到目前为止,海滨锦葵对昆虫的作用研究方面尚未见报道.为了进一步拓展这些生物质能源植物副产物的利用途径,特别是在害虫无公害治理方面的利用,提高其综合利用率,本研究以新入侵我国的“超级害虫”B型烟粉虱 (*Bemisia tabaci*)为试验对象,通过测定蓖麻种子、蓖麻叶片、海滨锦葵叶片3种植物组织乙醇粗提物处理后烟粉虱成虫体内几种重要抗性酶活性的变化,以及粗提物对烟粉虱成虫嗅觉反应的影响,研究这些植物组织对烟粉虱的作用,为进一步探索利用其作为植物保护剂的可行性提供依据.

1 材料与方法

1.1 供试虫源

B型烟粉虱采自扬州大学校内实验农场的黄瓜 (*Cucumis sativus*)上,经鉴定后,在室内养虫室用盆栽黄瓜饲养繁殖3代后供试验.

1.2 研究方法

1.2.1 叶片、种子乙醇粗提物的制备 叶片和种子

内含物采用索氏提取法抽提.取完全成熟的中上部蓖麻叶片、海滨锦葵叶片以及成熟的蓖麻种子若干,洗净,晾干,放入 40℃~50℃烘箱中恒温干燥,粉碎后过 40~80目筛.取 50 g粉末包好,放入提取器中(不超过虹吸管),然后加入 5倍于植物粉末量的 95%乙醇,抽提 24 h后取出抽滤,用旋转蒸发仪浓缩至 1 g干物质 1 ml(1 g DM·mL⁻¹),装在棕色玻璃瓶中备用.

1.2.2 烟粉虱酶液制备 酶液(A液)制备参照 Byme等^[11]的方法.取饲养在黄瓜上的 B型烟粉虱成虫若干,放入养虫笼内的寄主植物上.取上述植物提取液,分别稀释 250、500和 1000倍,用小型喷雾器向寄主植物叶片背面和虫体上喷雾,处理后 4、24、48、72和 96 h分别取成虫 100头,置于 1.5 ml离心管中,加入 0.2 mol·mL⁻¹ pH=6.0的磷酸缓冲液 1.0 ml在冰浴中充分匀浆后,4℃ 10000 r·min⁻¹离心 10 min,取上清液稀释 10倍作为酶源, -20℃下保存备用.用 1.8%的阿维菌素 3000倍液和清水处理作对照.

底物与显色剂混合液(B液):用 0.2 mol·mL⁻¹ pH=6.0的磷酸缓冲液配置含有 125 μmol·L⁻¹ α-NA和 0.006%固蓝 RR盐溶液,混合后过滤得到滤液即为底物与显色剂混合液.

1.2.3 酶活性测定方法 谷胱甘肽转移酶活性测定:取 96孔酶标板,用移液器每孔依次加入 20 μl 20 mmol·L⁻¹ 1-氯-2,4-二硝基苯(CDNB)、40 μl 40 mmol·L⁻¹谷胱甘肽(GSH)、90 μl磷酸缓冲液、50 μl酶液.反应总体积 250 μl以磷酸缓冲液代替酶液为空白对照.采用酶动力学法,用 BIO-TEK ELX800uv型酶标仪监测反应混合物在 340 nm波长下 15 min内的 OD变化,即为羧酸酯酶的比活力.酶促反应阶段温度为 25℃.

羧酸酯酶活性测定:参照 Byme等^[11]的方法.取 96孔酶标板,用移液器每孔依次加入 50 μl A液和 200 μl B液,反应总体积 250 μl反应体系中底物终浓度 100 μmol·L⁻¹,酶液相当于单头烟粉虱.以磷酸缓冲液代替酶液为空白对照.采用酶动力学法,用 BIO-TEK ELX800uv型酶标仪监测反应混合物在 450 nm波长下 15 min内的 OD值变化即为羧酸酯酶的比活力.酶促反应阶段温度为 25℃.

1.2.4 烟粉虱对抽提物的嗅觉反应测定 利用 Y形嗅觉仪测定.叶片的乙醇提取物样品处理:取稀释 250倍的粗提物和 95%的乙醇各 10 μl分别滴加于滤纸上,自然干燥后分别置于嗅觉仪两臂端作诱源

和对照,测定烟粉虱对乙醇抽提物的反应.

试验在温度 25℃左右、相对湿度 80%左右的室内进行,在嗅觉仪上方 0.5 m 处放置 1 盏 40 W 日光灯提供均匀光照.嗅觉仪臂端气体流量设定为 30 ml·min⁻¹,每头烟粉虱作为 1 个处理,5 min 内进入臂端者记为反应,5 min 内没有进入臂端者记为不反应.每测 5 头将方向对换一下,以免光线不均匀而造成影响,并将测试区域先用无水乙醇擦拭,然后用蒸馏水擦拭,之后重新放入样品.每头烟粉虱只受试一次,每一处理测试 20 头烟粉虱,试验前用空气吹洗嗅觉仪 10~20 min.

试验分别用反应率和驱避率^[12]指标评价烟粉虱对供试样品的嗅觉反应.

反应率 = $\frac{\text{两臂端反应总虫量}}{\text{试验总虫数}} \times 100\%$

驱避率 = $\frac{\text{对照虫量} - \text{处理虫量}}{\text{对照虫量}} \times 100\%$

1.3 数据处理

试验数据采用 DPS 统计软件进行处理.用 Duncan 多重比较的方法检验各处理的差异显著性,显著性检验水平均为 P≤0.05.

2 结果与分析

2.1 不同提取物对烟粉虱的嗅觉反应

烟粉虱对蓖麻种子、海滨锦葵叶片和蓖麻叶片 3 种植物组织的乙醇粗提物都有明显的嗅觉反应,并且都表现为负趋性,即烟粉虱对 3 种植物组织提取液都具有明显的驱避性,其中,蓖麻种子和蓖麻叶片的驱避作用较海滨锦葵叶片显著(表 1).

表 1 烟粉虱对不同提取物的嗅觉反应
Tab. 1 Olfaction reactions of *B. tabaci* to different extracts (mean±SD)

植物提取物 Plant extracts	反应率 Reaction rate (%)	驱避率 Repellent rate (%)
蓖麻种子 <i>R. communis</i> seed	12.50±2.814 _a	100.00±0.00 _a
蓖麻叶片 <i>R. communis</i> leaf	20.00±2.887 _a	96.67±9.44 _{ab}
海滨锦葵叶片 <i>K. virginica</i> leaf	20.00±3.162 _a	79.44±3.33 _b

同列不同小写字母表示处理间差异显著 (P<0.05) Different small letter in the same column meant significant difference at 0.05 level

2.2 粗提物对烟粉虱谷胱甘肽转移酶 (GSTs)活性的影响

从表 2 可以看出,3 种粗提物对烟粉虱谷胱甘肽转移酶均有明显的诱导作用,处理 4 h 后,谷胱甘肽转移酶活性显著高于对照 (P<0.01).随着处理时间的延长,烟粉虱体内谷胱甘肽转移酶的活性总体上呈上升趋势,如蓖麻种子、蓖麻叶片、海滨锦葵叶片粗提物 250 倍液处理 96 h 后,烟粉虱体内谷胱甘肽转移酶活性比处理后 4 h 分别提高了 41.3%、68.3%和 88.3%. 250 倍液处理的烟粉虱体内谷胱甘肽转移酶的活性一般在处理 48~72 h 后趋于稳定.

粗提物对烟粉虱谷胱甘肽转移酶的诱导作用存在明显的剂量效应,粗提物浓度越高,对谷胱甘肽转移酶诱导作用越强,其中,蓖麻种子、蓖麻叶片和海滨锦葵叶片 250 倍液处理后 4 h 谷胱甘肽转移酶活性分别是 1000 倍液的 4.62、2.39 和 1.52 倍 (P<0.01). 从表 2 还可以发现,250 倍液的 3 种粗提物

表 2 不同处理烟粉虱成虫谷胱甘肽转移酶活性
Tab. 2 Acglutathione S-transferase activity of *B. tabaci* after treatment (mean±SD)

处 理 Treatment		谷胱甘肽转移酶活性 Activity of acglutathione S-transferase (mOD·min ⁻¹ ·head ⁻¹)				
		4 h	24 h	48 h	72 h	96 h
RS	×250	2.08±0.001A _{bc}	2.26±0.001A _b	2.60±0.012B _{ab}	2.53±0.001B _{ab}	2.94±0.001A _{Ba}
	×500	1.28±0.225B _{Cb}	1.59±0.131B _b	1.45±0.092C _b	1.74±0.149C _D _b	2.50±0.144C _a
	×1000	0.45±0.028D _c	0.85±0.039C _b	0.82±0.019D _b	1.23±0.024D _a	0.87±0.026D _E _{ab}
RL	×250	2.08±0.001A _b	2.28±0.003A _b	2.32±0.001B _b	3.83±0.003A _a	3.50±0.001A _a
	×500	1.12±0.081B _{Cb}	1.10±0.069B _{Cb}	1.62±0.068C _b	2.82±0.028B _a	3.23±0.076A _{Ba}
	×1000	0.87±0.103C _D _b	0.73±0.051C _b	1.25±0.075C _a	1.62±0.182C _D _a	1.63±0.0246D _a
KL	×250	1.54±0.002A _{Bb}	2.20±0.002A _{ab}	2.94±0.002A _a	3.01±0.021B _a	2.90±0.002A _{Ba}
	×500	1.01±0.280B _{Cb}	1.25±0.216B _{Cb}	2.46±0.141B _a	2.55±0.153B _a	2.67±0.014B _{Ca}
	×1000	0.76±0.062C _D _c	1.22±0.276B _C _{ab}	1.53±0.141C _a	1.21±0.115D _{ab}	1.44±0.118D _{ab}
AV	×3000	2.01±0.002A _b	1.65±0.002B _b	3.39±0.001A _a	2.18±0.001B _{Cb}	2.65±0.002C _a
CK		0.47±0.001D _a	0.45±0.002C _{ab}	0.36±0.003D _b	0.49±0.002E _a	0.41±0.012E _{ab}

RS: 蓖麻种子 R. communis seed; RL: 蓖麻叶片 R. communis leaf; KL: 海滨锦葵叶片 K. virginica leaf; AV: 1.8%阿维菌素 1.8% avermectins 同列不同大写字母或同行不同小写字母分别表示不同处理及不同时间的差异显著 (P<0.05) Different capitals in the same column or small letters in the same row meant significant difference among treatments and times. 下同 The same below.

表 3 不同处理烟粉虱成虫羧酸酯酶活性
Tab. 3 Carboxylesterase activity of B. tabaci after treatment (mean±SD)

处 理 Treatment		羧酸酯酶活性 Carboxylesterase activity (mOD · min ⁻¹ · head ⁻¹)				
		4 h	24 h	48 h	72 h	96 h
RS	×250	2.74±0.094Bd	2.42±0.337Ce	3.29±0.140Bc	3.75±0.049ABa	3.57±0.048Bb
	×500	1.29±0.058EFd	2.25±0.028Dc	2.50±0.044Cb	3.12±0.027Ca	2.50±0.017Db
	×1000	1.31±0.035EFb	1.43±0.053GHb	1.70±0.043Ga	1.93±0.024Ea	1.85±0.042Fa
RL	×250	3.11±0.084Ac	3.56±0.026Ab	3.73±0.031Aab	3.62±0.030ABab	3.86±0.043Aa
	×500	2.48±0.035Cbc	2.51±0.062Cb	3.21±0.042Ba	2.12±0.035DEd	2.30±0.025Ecd
	×1000	1.32±0.062EFb	1.35±0.035Hb	2.21±0.032DEa	2.27±0.046DEa	2.35±0.058DEa
KL	×250	2.57±0.114BCc	2.89±0.154Bb	3.29±0.105Ba	3.44±0.064BCa	3.42±0.011Ba
	×500	2.01±0.032Dd	2.11±0.028EFcd	2.22±0.021Dc	2.55±0.024Db	2.80±0.062Ca
	×1000	1.19±0.062Fc	1.72±0.027Fb	1.90±0.024FGa	1.83±0.053EFab	1.82±0.032Fab
AV	×3000	2.00±0.047Db	2.37±0.070Eb	3.65±0.077Aa	4.15±0.071Aa	3.92±0.066Aa
CK		1.42±0.085Ea	1.51±0.059Ga	1.47±0.069Ha	1.29±0.053Fb	1.42±0.067Ga

对烟粉虱成虫谷胱甘肽转移酶活性的诱导效果与 1.8% 的阿维菌素 3000 倍液相当, 而 1000 倍液的诱导效果相对较差.

蓖麻种子、蓖麻叶片和海滨锦葵叶片粗提物对烟粉虱谷胱甘肽转移酶的诱导作用存在明显的差异. 其中, 蓖麻叶片粗提物的诱导作用最强, 海滨锦葵叶片的诱导作用较弱, 蓖麻叶片粗提物 250 倍液处理 4、24、48、72、96 h 后, 烟粉虱的谷胱甘肽转移酶活性分别是海滨锦葵叶片的 1.35、1.04、0.76、1.27 和 1.21 倍.

2.3 粗提物对烟粉虱羧酸酯酶活性的影响

从表 3 可以看出, 不同浓度的粗提物对烟粉虱成虫羧酸酯酶活性的作用不同, 250 倍液的 3 种粗提物对烟粉虱成虫体内羧酸酯酶活性具有明显的诱导作用, 并且随着处理时间的延长, 羧酸酯酶活性增强 ($P<0.01$); 而 1000 倍液的 3 种粗提物处理后 4 h 烟粉虱成虫体内羧酸酯酶的活性小于对照, 即表现出对烟粉虱成虫体内羧酸酯酶活性的抑制作用, 但处理 24 h 后海滨锦葵叶片对羧酸酯酶的活性由抑制转为诱导作用, 而蓖麻种子和叶片则在处理 48 h 后开始由抑制转为诱导作用.

3 种植物组织的乙醇粗提物对烟粉虱羧酸酯酶诱导的作用存在明显的剂量效应, 粗提物浓度越高, 对羧酸酯酶活性的诱导作用越强 ($P<0.01$). 其中, 蓖麻种子、蓖麻叶片和海滨锦葵叶片 250 倍液处理后 4 h 的羧酸酯酶活性分别是 1000 倍液的 2.1、2.4 和 2.2 倍. 从表 3 还可以发现, 在处理 24 h 以内, 3 种粗提物 250 倍液的诱导作用比 1.8% 的阿维菌素 3000 倍液的诱导作用强; 48 h 后, 250 倍液的海滨锦葵叶片和蓖麻种子诱导作用较 1.8% 的阿维菌素

3000 倍液差, 但 250 倍液的蓖麻叶片与 1.8% 的阿维菌素 3000 倍液处理效果相当. 结果显示, 与阿维菌素相比, 3 种粗提物对烟粉虱羧酸酯酶活性具有迅速诱导的作用, 但持续诱导作用较 1.8% 的阿维菌素 3000 倍液差.

3 种粗提物对烟粉虱羧酸酯酶的诱导作用存在一定的差异. 其中, 蓖麻叶片粗提物 250 倍液处理 4、24、48、72 和 96 h 后, 羧酸酯酶的活性分别是蓖麻种子的 1.1、1.5、1.0、1.0 和 1.1 倍, 是海滨锦葵叶片的 1.2、1.2、1.1、1.1 和 1.1 倍.

3 讨 论

羧酸酯酶是昆虫重要的解毒酶, 也是昆虫重要的保护酶. 当昆虫遭遇不良环境、农药, 或寄主胁迫时, 产生的适应性酶系与昆虫的抗逆性有关. 当受到外界环境或寄主胁迫时, 许多植食性昆虫体内羧酸酯酶的活性会随即迅速上升. 如用含有不同浓度 Bt 毒蛋白的人工饲料饲喂棉铃虫, 随着 Bt 毒蛋白浓度的升高, 幼虫体内羧酸酯酶活性呈升高趋势^[13]. 杨小舟蛾 (*Micromela lophatrogodyta*) 幼虫取食转 Bt CpTI 基因的杨树叶片后, 其中肠酯酶活性在饲喂初期均显著高于对照, 表明食料中的 Bt CpTI 等杀虫蛋白会引起昆虫中肠酯酶活性上升^[14]. 直接应用阿维菌素处理甘蔗绵蚜 (*Cerato vacuna lanigera*) 发现, 随着阿维菌素处理浓度的升高, 甘蔗绵蚜体内的羧酸酯酶活性也逐渐升高^[15]. 昆虫体内羧酸酯酶活性与昆虫对寄主植物的嗜性呈明显的负相关, 羧酸酯酶活性在某种程度上间接地反映了昆虫对寄主植物的嗜好性和利用情况, 如棉铃虫幼虫的发育速率与羧酸酯酶活性的变化呈负相关^[15-17]; 取食甜菜 (*Beta*

ta vulgaris)、莧菜 (*Amaranthus mangostanus*)、甘蓝 (*Brassica oleracea* var *capitata*)、青菜 (*Brassica campestris* spp *chinensis* var *communis*) 的甜菜夜蛾 (*Spodoptera exigua*) 幼虫的发育速率依次减慢, 蛹质量降低, 而羧酸酯酶活性依次增大^[15]。薛明等^[18]对甜菜夜蛾的研究也证实了这一现象。因此, 羧酸酯酶活性变化在一定程度上可以作为昆虫对寄主适合度的一个重要参考指标。

在不同寄主上取食的烟粉虱后代的羧酸酯酶活性变化与其对寄主的嗜好性具有明显的相关性。研究发现, 在小白菜、甘蓝、花菜 (*Brassica oleracea* var *botrytis*)、苘麻 (*Abutilon theophrasti*) 4 种寄主植物上取食的烟粉虱后代种群中, 以非嗜好寄主小白菜上的烟粉虱的羧酸酯酶活性最高, 其次为甘蓝、花菜, 而最嗜好寄主苘麻上的最低, 小白菜上烟粉虱后代羧酸酯酶活性是取食苘麻的 3.90 倍^[19]。应用槲皮素处理烟粉虱后也发现, 槲皮素可持续诱导烟粉虱羧酸酯酶、谷胱甘肽转移酶活性的增加^[20]。本研究也发现, 采用苘麻种子、苘麻叶片和海滨锦葵叶片 3 种植物组织提取液处理后, 烟粉虱的羧酸酯酶和谷胱甘肽转移酶活性都有不同程度的提高, 说明这 3 种植物组织的乙醇提取液对烟粉虱除了具有驱避作用外, 还具有其他的生物活性, 其中, 250 倍液的苘麻叶片提取液作用明显, 但其作用性质和作用机制还有待进一步研究。

羧酸酯酶和谷胱甘肽转移酶是昆虫降解植物次生代谢物质的两种主要酶系, 植物次生代谢物质对昆虫体内这两种酶的诱导作用都很强, 但不同植物的提取液和不同浓度的提取液对烟粉虱羧酸酯酶、谷胱甘肽转移酶的诱导强度和诱导的持续时间不同。本研究发现, 苘麻种子、苘麻叶片和海滨锦葵叶片 3 种植物组织提取液的浓度越高, 对烟粉虱羧酸酯酶、谷胱甘肽转移酶的诱导强度越大。其中, 苘麻叶片提取液对烟粉虱羧酸酯酶和谷胱甘肽转移酶的诱导强度最高, 而海滨锦葵叶片的诱导强度相对较低。250 倍液的苘麻叶片提取液对烟粉虱羧酸酯酶的诱导持续时间最长 (96 h), 而苘麻种子提取液对谷胱甘肽转移酶的持续诱导时间最长 (96 h)。苘麻种子、苘麻叶片和海滨锦葵叶片 3 种植物组织提取液对烟粉虱不仅具有驱避作用, 同时还具有其他的生物活性。

参考文献

- [1] Qin J-D (钦俊德). The Relationship Between Insects and Plants—The Interaction and Evolution between Insects and Plants. Beijing: Science Press, 1987 (in Chinese)
- [2] Zhu C-S (祝传书), Zhao H-Y (赵惠燕). Effects of elicitors on aphid growth and development and on specific genes expression in wheat. Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), 2006, 17(4): 668—672 (in Chinese)
- [3] Riskallah MR, Dauterman WC, Hodgson E. Host plant induction of microsomal monooxygenase activity in relation to diazinon metabolism and toxicity in larvae of the tobacco budworm, *Heliothis virescens* (F.). Pesticide Biochemistry and Physiology, 1986, 25: 233—247
- [4] Wei J-R (魏建荣), Yang Z-Q (杨忠岐), Dai J-Q (戴建青). Tritrophic system of tree-trunkborer-insect-natural enemy association. Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), 2007, 18(5): 1125—1131 (in Chinese)
- [5] Terriere LC. Induction of detoxication enzymes in insects. Annual Review of Entomology, 1984, 29: 71—88
- [6] Lindroth RL. Host plant alteration of detoxification enzyme in *Papilio glaucus*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1989, 50: 29—35
- [7] Xu Q-Y (徐齐云), Zhong G-H (钟国华), Hu M-Y (胡美英), et al. Study on insecticidal activity of extract of *Ricinus communis* L. to vegetable pests. Journal of Changjiang Vegetables (长江蔬菜), 2006(11): 35—36 (in Chinese)
- [8] Zhao J-X (赵建兴), Zhan S-H (张树怀), She G-Z (余国珍), et al. Insecticidal effect of raw extracts of Coster bean toxin. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (内蒙古农业大学学报), 2001, 22(4): 78—80 (in Chinese)
- [9] Wu X-P (吴雪平), Shan C-J (单长卷), Bao D-E (包冬娥). Study on the biological activity of crude extraction of castor bean shell against wheat aphid. Journal of Anhui Agricultural Science (安徽农业科学), 2006, 34(11): 2450—2451 (in Chinese)
- [10] Zhang Y-H (张越华), Guo X-Z (郭晓昭), Hu L-C (胡良成), et al. Preliminary study on the extraction of ricins and its rat-killing activity. Journal of Anhui Agricultural Science (安徽农业科学), 2008, 36(3): 1053—1054 (in Chinese)
- [11] Byrne FJ, Devonshire AL. Insensitive acetylcholinesterase and esterase polymorphism in susceptible and resistant populations of the tobacco whitefly *Bemisia tabaci*

(Genn). Pesticide Biochemistry and Physiology 1993, **45**(1): 34-42

[12] Wei H (魏 辉), Hou Y M (侯有明), Yang G (杨 广), et al Repellent and antifeedant effect of secondary metabolites of non-host plants on *Plutella xylostella*. Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), 2004, **15**(3): 473-476 (in Chinese)

[13] Zhang S-Y (张少燕), Li D-M (李典谟), Xie B-Y (谢宝瑜). Effects of Bt toxic protein on development and activities of several relative enzymes in *Helicoverpa armigera*. Entomological Knowledge (昆虫知识), 2004, **41**(6): 536-540 (in Chinese)

[14] Guo T-B (郭同斌), Ji B-Z (嵇保中), Zhuge Q (诸葛强), et al Effect of transgenic poplars on the activities of detoxification enzymes in *Micromelalopha troglodyta* larvae. Scientia Silvae Sincae (林业科学), 2007, **43**(5): 59-63 (in Chinese)

[15] Wang J-J (王建军), Dai Z-Y (戴志一), Yang Y-Z (杨益众). Effects of host plants on the activity of detoxification enzyme in *Helicoverpa armigera*. Jiangsu Agricultural Research (江苏农业研究), 2000, **21**(2): 58-61 (in Chinese)

[16] Lu Y-Y (陆永跃), Zhao S-H (赵思华), Yin C-D (尹楚道). Effect of hosts on the oviposition development and population dynamics of *Helicoverpa armigera*. Journal of Anhui Agricultural University (安徽农业大学学报), 1998, **25**(3): 230-235 (in Chinese)

[17] Jiang W-H (姜卫华), Lu Z-Q (陆自强), Ma S-L (马式廉), et al Effects of host plants on the esterase activity of beet armyworm and its sensitivity to insecticides. Plant Protection (植物保护), 2001, **27**(5): 13-14 (in Chinese)

[18] Xu M (薛 明), Dong J (董 杰), Zhang C-S (张成省). Effect of feeding Bt cotton and other plants on the changes of development and insecticide susceptibilities of lesser armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). Acta Phytophylacica Sinica (植物保护学报), 2002, **29**(1): 13-18 (in Chinese)

[19] Wang H (王 红), Wang D-S (王冬生), Yang Y-Z (杨益众), et al Effects of host plants on enzymes related to pesticide resistance of *Bemisia tabaci*. Plant Protection (植物保护), 2007, **33**(3): 36-39 (in Chinese)

[20] Mu S-F (牟少飞), Liang P (梁 沛), Gao X-W (高希武). Effects of quercetin on specific activity of carboxylesterase and glutathione S-transferases in *Bemisia tabaci*. Entomological Knowledge (昆虫知识), 2006, **43**(4): 491-495 (in Chinese)

作者简介 周福才,男,1964年生,博士,副研究员.主要从事昆虫生态和农业害虫综合治理等研究,发表论文 60 余篇.
E-mail: fczhou@yzu.edu.cn

责任编辑 肖 红
