

植物次生物质和杀虫剂对分月扇舟蛾谷胱甘肽 *S*-转移酶的抑制作用^{*}

汤 方^{1**} 李 丽¹ 高希武²

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院 江苏省有害生物入侵预防与控制重点实验室 南京 210037;

2. 中国农业大学昆虫学系 北京 100193)

摘 要 本论文采用分光光度计法研究了植物次生物质和杀虫剂对分月扇舟蛾 *Clostera anastomosis* (L.) 谷胱甘肽 *S*-转移酶 (GSTs) 的体外抑制作用。结果表明各植物次生物质和杀虫剂对分月扇舟蛾 GSTs 活性的体外抑制作用存在差异。当植物次生物质和杀虫剂终浓度为 8.34×10^{-5} mol/L 时, 槲皮素和单宁酸对分月扇舟蛾 GSTs 活性抑制作用最强, 分别为 64.41% 和 58.61%; 三唑磷、毒死蜱、辛硫磷、氟铃脲、氟虫腈和吡虫啉都有较强的抑制作用, 对 GSTs 活性抑制率超过 20%; 氧化乐果、水胺硫磷、丙溴磷、马拉硫磷、灭多威、联苯菊酯、高效氯氰菊酯、甲氰菊酯、高效氯氟氰菊酯、吡虫啉和啉虫脒对分月扇舟蛾 GSTs 有中等抑制作用; 其他杀虫剂对分月扇舟蛾 GSTs 有较弱 (或没有) 抑制作用。此外, 在一定的浓度范围内, 槲皮素、单宁酸和辛硫磷对分月扇舟蛾 GSTs 活性的抑制作用存在明显的剂量效应关系。槲皮素、单宁酸和辛硫磷对分月扇舟蛾 GSTs 的抑制中浓度分别为 2.19×10^{-5} , 2.62×10^{-5} , 1.49×10^{-4} mol/L。因此, 此研究明确了槲皮素和单宁酸作为防治分月扇舟蛾的新型防治剂或增效剂具有很好的潜力。

关键词 分月扇舟蛾, 谷胱甘肽 *S*-转移酶, 杀虫剂, 植物次生物质, 抑制率

Inhibition of glutathione *S*-transferase activity by insecticides and allelochemicals in *Clostera anastomosis*

TANG Fang^{1**} LI Li¹ GAO Xi-Wu²

(1. Jiangsu Key Laboratory for Prevention and Management of Invasive Species, College of Forestry Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Department of Entomology,

China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract A biochemical investigation was made into the inhibition of glutathione *S*-transferase (GST) activity in *Clostera anastomosis* (L.) by insecticides and allelochemicals. The results showed that different inhibitors have different effects on the inhibition of GST activity. When the final concentration of insecticides and allelochemicals was 8.34×10^{-5} mol/L, quercetin and tannic acid were the most potent inhibitors tested, with inhibition percentages of GSTs in *C. anastomosis* of 64.41% and 58.61%. Among the inhibitors tested, triazophos, chlorpyrifos, phoxim, hexaflumuron, fipronil and pyridaben were inhibitory and omethoate, isocarbophos, profenofos, malathion, methomyl, bifenthrin, beta-cypermethrin, fenpropathrin, lambda-cyhalothrin, imidacloprid and acetamiprid were moderately inhibitory. Other insecticides were less inhibitory. Furthermore, quercetin, tannic acid and phoxim inhibited GST activity *in vitro* in a dose-dependent manner. The I_{50} values of these three inhibitors for GST activity in *C. anastomosis* larvae were 2.19×10^{-7} mol/L, 2.53×10^{-7} mol/L and 0.15×10^{-7} mol/L, respectively. The results indicate that quercetin and tannic acid have good potential to control *C. anastomosis*.

Key words *Clostera anastomosis*, glutathione *S*-transferase, insecticides, plant allelochemicals, inhibition

* 资助项目: 国家自然科学基金 (30972376 和 30600476) 和霍英东青年教师奖 (123086)。

**通讯作者, E-mail: tangfang76@njfu.com.cn

收稿日期: 2011-09-22, 接受日期: 2012-05-30

分月扇舟蛾 *Clostera anastomosis* (L.), 属鳞翅目, 舟蛾科, 是危害杨树的食叶害虫。分月扇舟蛾在我国主要分布在东北、华北、新疆、江苏、浙江、安徽、福建、湖南、湖北、四川、贵州、云南、陕西、甘肃和新疆等地区。受害杨树轻者叶片枯黄, 树木生长受到影响, 严重者被吃光树叶, 不仅影响当年枝条木质化, 而且严重影响翌年树木的生长发育, 甚至导致树木死亡(杨振德等, 2004)。谷胱甘肽 *S*-转移酶 (glutathione *S*-transferases 简称 GSTs; EC2.5.1.18) 是催化还原型谷胱甘肽 (glutathione, GSH) 与各种亲电子化合物进行亲核加成反应的一类酶。GSTs 能够使亲电化合物亲水性增加, 使其易于排出体外 (Listowsky *et al.*, 1988; Clark, 1989; Rushmore and Pickett, 1993)。在昆虫体内, GSTs 不仅参与了多种植物次生物质的代谢 (Motoyama and Dauterman, 1980), 还参与了杀虫剂的代谢 (Yu, 1986)。因此, GSTs 在昆虫的解毒代谢中起着非常重要的作用。到目前为止, 关于分月扇舟蛾 GSTs 的研究国内外还未见报道。槲皮素属黄酮类化合物, 存在于许多植物的花、叶和果实中; 2-十三烷酮是植物体内一种重要的次生物质; 单宁是一类广泛存在于植物体内的多元酚化合物。因此, 本论文研究了这 3 种植物次生物质和 19 种常用杀虫剂对分月扇舟蛾 GSTs 的抑制作用, 旨在明确: (1) 分月扇舟蛾对种植物次生物质和杀虫剂敏感性差异的机制; (2) 寻找潜在的分月扇舟蛾 GSTs 的抑制剂, 为分月扇舟蛾的治理提供重要的理论依据, 为开发防治分月扇舟蛾的新型杀虫剂提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

分月扇舟蛾采自江苏南京, 取回室内后在 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ 恒温, L:D = 12:12, 相对湿度 75% 的条件下饲养。

1.2 化学试剂及药品

1-氯-2, 4-二硝基苯 (CDNB)、苯甲基磺酰氟 (PMSF)、二硫苏糖醇 (DTT)、单宁酸和 2-十三烷酮为 Sigma 公司产品; 还原型谷胱甘肽 (GSH) 为 Urchem 公司产品; 槲皮素购自南京生兴生物公司。

本试验所使用的杀虫剂原药的含量及其厂家见表 1。其他试剂均购自国内公司。试剂均为国

产分析纯。

1.3 酶液制备

取 6 头分月扇舟蛾 5 龄幼虫放在预冷的玻璃匀浆器中, 加入含 1 mmol/L 乙二胺四乙酸二钠盐 (EDTA) 的 3 mL 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液 (pH 6.5) (缓冲液用前加 PMSF 和 DTT 至终浓度为 1 mmol/L) 匀浆, 4°C , 10 000 g 离心 20 min, 上清液用滤纸抽吸, 滤液直接用于测定。

1.4 GSTs 活性测定

参照 Habig 等 (1976) 方法。将 30 mmol/L CDNB 40 μL , 20 mmol/L GSH 60 μL , 酶液 100 μL , pH 为 6.5 的 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液和药液共 1 mL, 加入比色杯中, 混匀。 25°C 条件下, 于 340 nm 波长处, 测定 2 min 内的 OD 值变化, 求出反应速度 ($\text{OD}_{340}/\text{min}$)。

$\text{GSTs 活力单位 (nmol/min)} = (\Delta\text{OD}_{340} \cdot v) / (\varepsilon \cdot L)$

式中 ΔOD_{340} 为每分钟光吸收的变化值, v 为酶促反应体积 (3 mL), ε 为产物的消光系数 (0.0096 L/ $\mu\text{mol} \cdot \text{cm}$), L 为比色杯的光程 (1 cm)。重复 3 次。

1.5 抑制剂对分月扇舟蛾 GSTs 活性的抑制

将供试杀虫剂和植物次生物质用丙酮配成浓度为 1×10^{-2} mol/L 的母液。

3 种植物次生物质和 19 种杀虫剂对分月扇舟蛾 GSTs 的抑制作用的方法: 在反应体系中加入药液 10 μL , 对照用 10 μL 丙酮代替药液, 将 pH 为 6.5 的 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液 990 μL , 30 mmol/L CDNB 40 μL , 20 mmol/L GSH 60 μL , 酶液 100 μL , 加入比色杯中, 混匀。对照反应速度在 0.15 $\text{OD}_{340}/\text{min}$ 左右, 利用紫外分光光度计测定 GSTs 的活性。

单宁对分月扇舟蛾 GSTs 的抑制剂量效应的方法: 分别配制 5×10^{-2} 、 2.5×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 和 2×10^{-3} mol/L 单宁药液, 在反应体系中加入药液 3 μL , 对照用 3 μL 丙酮代替药液, 将 pH 为 6.5 的 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液 997 μL , 30 mmol/L CDNB 40 μL , 20 mmol/L GSH 60 μL , 酶液 100 μL , 加入比色杯中, 混匀。利用紫外分光光度计测定 GSTs 的活性。

槲皮素对分月扇舟蛾 GSTs 的抑制剂量效应的方法: 分别配制 1×10^{-2} 、 2×10^{-3} 、 4×10^{-4} 、

表 1 杀虫剂原药的含量及其厂家
Table 1 Content and manufacturers of technical grade insecticides

杀虫剂 Insecticide	含量 Content (%)	厂家 Manufacturer
有机磷 Organophosphate		
三唑磷 Triazophos	92.0	江西凯丰化工有限公司 Jiangxi Kaifeng Chemical Co., Ltd.
马拉硫磷 Malathion	95.0	河北世纪农药有限公司 Hebei Shiji Pesticide Co., Ltd.
毒死蜱 Chlorpyrifos	97.0	美国陶氏益农公司 Dow AgroSciences LLC
辛硫磷 Phoxim	99.0	天津农药股份有限公司 Tianjin Pesticide Co., Ltd.
氧化乐果 Omethoate	92.0	浙江杭州庆丰农化有限公司 Hangzhou Qingfeng Agrochemicals Co., Ltd.
丙溴磷 Profenofos	90.0	天津农药股份有限公司 Tianjin Pesticide Co., Ltd.
水胺硫磷 Isocarbophos	95.0	湖北仙隆化工股份有限公司 Hubei Xianlong Chemcial Industry Co., Ltd.
氨基甲酸酯类 Carbamate		
灭多威 Methomyl	98.0	湖北沙隆达农药化工有限公司 Hubei Sanongda Co., Ltd.
拟除虫菊酯类 Pyrethriod		
甲氰菊酯 Fenpropathrin	92.0	山东大成农药股份有限公司 Shandong Dacheng Pesticide Co., Ltd.
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	97.0	山东大成农药股份有限公司 Shandong Dacheng Pesticide Co., Ltd.
联苯菊酯 Bifenthrin	97.0	江苏扬农化工股份有限公司 Jiangsu Yangnong Chemical Group Co., Ltd.
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	95.0	江苏皇马农药化工有限公司 Jiangsu Huangma Pesticide (Chemical Co., Ltd.
其他杀虫剂 Other insecticides		
氟铃脲 Hexaflumuron	95.0	东方润博农化(山东)有限公司 East Romble Agrochem (Shandong) Co., Ltd.
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(简称为“甲维盐”) Emamectin benzoate	90.0	浙江钱江生物化学股份有限公司 Zhejiang Qianjiang Biochemical Co., Ltd.
阿维菌素 Abamectin	95.3	山东京博农化有限公司 Shandong Jingbo Agrochemicals Co., Ltd.
氟虫腈 Fipronil	90.0	安徽华星化工股份有限公司 Anhui Huaxing Chemical Industry Co., Ltd.
吡虫啉 Imidacloprid	95.0	湖北沙隆达农药化工有限公司 Hubei Sanongda Co., Ltd.
啉虫脒 Acetamiprid	96.0	山东青岛海利尔药业有限公司 Qingdao Haili' er Medicine Co., Ltd.
哒螨灵 Pyridaben	95.0	山东联合农药工业有限公司 Shandong Sino-Agri United Biotechnology Co., Ltd.

8 × 10⁻⁵ 和 1.6 × 10⁻⁵ mol/L 槲皮素药液,在反应体系中加入药液 15 μL,对照用 15 μL 丙酮代替药液,将 pH 为 6.5 的 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液 985 μL,30 mmol/L CDNB 40 μL,20 mmol/L GSH 60

μL,酶液 100 μL,加入比色杯中,混匀。利用紫外分光光度计测定 GSTs 的活性。
辛硫磷对分月扇舟蛾 GSTs 的抑制剂量效应的方法:分别配制 5 × 10⁻²、1 × 10⁻²、2 × 10⁻³、4 ×

10^{-4} 和 8×10^{-5} mol/L 辛硫磷药液, 在反应体系中加入药液 5 μ L, 对照用 5 μ L 丙酮代替药液, 将 pH 为 6.5 的 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液 995 μ L, 30 mmol/L CDNB 40 μ L, 20 mmol/L GSH 60 μ L, 酶液 100 μ L, 加入比色杯中, 混匀。利用紫外分光光度计测定 GSTs 的活性。

抑制率的计算公式为:

抑制率 (%) = (对照 GSTs 活性 - 杀虫剂抑制后 GSTs 活性) / 对照 GSTs 活性 $\times$ 100。

1.6 抑制中浓度的计算

以浓度的负对数为横坐标, 抑制率为纵坐标作图, 求出抑制率回归方程, 计算抑制率为 50% 的药剂浓度即为药剂的抑制中浓度。

1.7 抑制剂抑制率显著性分析

利用 GraphPad InStat version 3.00 软件进行数据分析。显著性分析方法为单因素方差分析, 利用 LSD 进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 杀虫剂和植物次生物质对分月扇舟蛾 GSTs 活性的抑制作用

从实验结果 (表 2) 可以看出, 所测定的杀虫剂和植物次生物质 (除了甲维盐和阿维菌素) 对分月扇舟蛾 GSTs 活性都有一定的抑制作用, 但是不同抑制剂的抑制作用存在显著差异 ($P \leq 0.05$)。当抑制剂终浓度为 8.34×10^{-5} mol/L 时, 槲皮素

表 2 杀虫剂和植物次生物质对分月扇舟蛾 GST 活性的抑制作用
Table 2 Inhibition of GSTs by insecticides and allelochemicals in *Clostera anastomosis* larvae

抑制剂 Inhibitor (8.34×10^{-5} mol/L)	抑制率 Percentage of inhibition (%)
有机磷 Organophosphate	
三唑磷 Triazophos	23.08 $\pm$ 1.59 bcde
马拉硫磷 Malathion	10.40 $\pm$ 0.85 fg
毒死蜱 Chlorpyrifos	20.77 $\pm$ 2.40 bcdef
辛硫磷 Phoxim	27.10 $\pm$ 0.08 bc
氧化乐果 Omethoate	14.39 $\pm$ 2.87 defg
丙溴磷 Profenofos	10.68 $\pm$ 2.14 fg
水胺硫磷 Isocarbophos	13.05 $\pm$ 3.63 defg
氨基甲酸酯类 Carbamate	
灭多威 Methomyl	11.67 $\pm$ 0.32 efg
拟除虫菊酯类 Pyrethriod	
甲氰菊酯 Fenpropathrin	11.40 $\pm$ 1.74 efg
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	15.93 $\pm$ 0.67 cdefg
联苯菊酯 Bifenthrin	18.80 $\pm$ 3.35 cdef
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	10.30 $\pm$ 3.30 fg
其他杀虫剂 Other insecticides	
氟铃脲 Hexaflumuron	24.55 $\pm$ 9.71 bcd
甲维盐 Emamectin benzoate	-6.57 $\pm$ 5.58 h
阿维菌素 Abamectin	-6.55 $\pm$ 2.03 h
氟虫腈 Fipronil	22.14 $\pm$ 2.49 bcdef
吡虫啉 Imidacloprid	17.01 $\pm$ 2.72 cdefg
啶虫脒 Acetamiprid	14.77 $\pm$ 1.84 defg
哒螨灵 Pyridaben	32.61 $\pm$ 1.49 b
植物次生物质 Allelochemical	
槲皮素 Quercetin	64.41 $\pm$ 8.49 a
单宁酸 Tannic acid	58.61 $\pm$ 7.23 a
2-十三烷酮 2-tridecanone	6.50 $\pm$ 1.80 g

注: 数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P \leq 0.05$), 下表同。
Data followed by different small letters indicate significantly different ($P \leq 0.05$). The same below.

和单宁酸对分月扇舟蛾 GSTs 活性抑制作用最强, 都超过 50%, 分别为 64.41% 和 58.61%。三唑磷、毒死蜱、辛硫磷、氟铃脲、氟虫腈和吡蚜灵有较强的抑制作用, 对 GSTs 活性抑制率超过 20%; 氧化乐果、水胺硫磷、丙溴磷、马拉硫磷、灭多威、联苯菊酯、高效氯氰菊酯、甲氰菊酯、高效氯氟氰菊酯、吡虫啉和啉虫咪对分月扇舟蛾 GSTs 有中等抑制作用; 其他杀虫剂对分月扇舟蛾 GSTs 有较弱(或没有)抑制作用。

2.2 植物次生物质和杀虫剂对分月扇舟蛾 GSTs 抑制的剂量-效应关系

由图 1 可以看出, 在 $5 \times 10^{-6} \sim 1.25 \times 10^{-4}$ mol/L 的浓度范围内, 单宁酸对分月扇舟蛾 GSTs 活性的抑制率存在明显的剂量-效应关系; 在 $2 \times 10^{-7} \sim 1.25 \times 10^{-4}$ mol/L 的浓度范围内, 槲皮素对分月扇舟蛾 GSTs 活性的抑制率存在明显的剂量-效应关系; 在 $3.36 \times 10^{-7} \sim 2.1 \times 10^{-4}$ mol/L 的浓度范围内, 辛硫磷对分月扇舟蛾 GSTs 活性的抑制率也存在明显的剂量-效应关系。

2.3 植物次生物质和杀虫剂对分月扇舟蛾 GSTs 抑制的抑制中浓度

根据实验结果所得数据(表 3), 可以计算出植物次生物质和杀虫剂对分月扇舟蛾 GSTs 抑制的抑制中浓度。由表 3 所得, 单宁酸的抑制中浓度为 2.62×10^{-5} mol/L, 槲皮素的抑制中浓度为 2.19×10^{-5} mol/L, 辛硫磷的抑制中浓度为 1.49×10^{-4} mol/L。

表 3 植物次生物质和杀虫剂对分月扇舟蛾 GSTs 的抑制中浓度

Table 3 I_{50} value of plant allelochemicals and insecticides on GST activity in *Clostera anastomosis* larvae

抑制剂 Inhibitor	抑制中浓度 I_{50} ($\times 10^{-5}$ mol/L)
单宁酸 Tannic acid	$2.62 \pm 0.07b$
槲皮素 Quercetin	$2.19 \pm 0.35b$
辛硫磷 Phoxim	$14.90 \pm 1.30a$

3 讨论

GSTs 是生物体内的一类 II 相代谢酶, 能使有害的亲电物质与内源的还原型谷胱甘肽(reduced glutathione, GSH)结合, 使之更易于排出体外

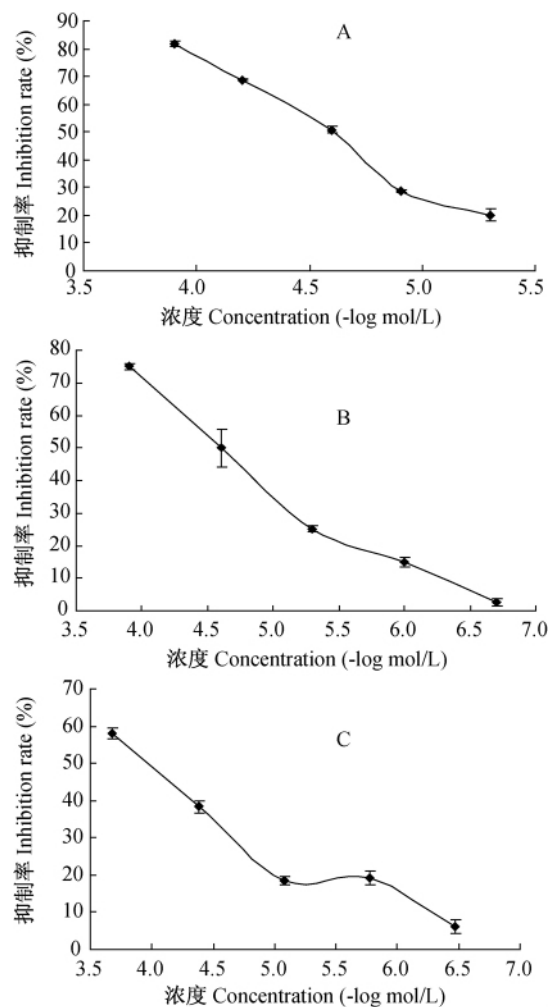


图 1 杀虫剂和植物次生物质对分月扇舟蛾 GSTs 抑制的剂量-效应关系

Fig. 1 Inhibition of GSTs activity by different insecticides and plant allelochemicals of different concentrations in *Clostera anastomosis* larvae

A: 单宁酸 tannic acid; B: 槲皮素 quercetin;

C: 辛硫磷 phoxim.

(Rushmore and Pickett, 1993)。GSTs 也是涉及代谢抗性的重要解毒酶之一, 主要介导有机磷、拟除虫菊酯和 DDT 等的抗性, 昆虫杀虫剂抗性水平与 GSTs 活性水平相关(Yu, 1986)。GSTs 体外抑制实验对于明确杀虫剂的作用机制及其寻找具有防治潜力的杀虫剂具有重要作用, 但目前关于杀虫剂对昆虫 GSTs 体外抑制研究较少。Chen 等(2007)研究表明, 测定有机磷、氨基甲酸酯和拟除虫菊酯杀虫剂浓度为 5×10^{-4} mol/L 时对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) GSTs 都有抑制作

用;汤方等(2007)研究表明,当终浓度为 2×10^{-5} mol/L 时,所测定的杀虫剂对黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* (Shiraki) 和黑胸散白蚁 *Reticulitermes chinensis* (Snyder) GSTs 活性都有一定程度的抑制作用。汤方等(2009)用 21 种杀虫剂和 3 种植物次生物质的终浓度为 1×10^{-4} mol/L 时,绝大多数杀虫剂对杨扇舟蛾 *Clostera anachoreta* (Fabricius) GSTs 活性都有一定的抑制作用。本研究所得结果与其他人的研究是一致的,结果表明在所用的杀虫剂和植物次生物质中,当终浓度为 8.34×10^{-5} mol/L 时,大多数杀虫剂对分月扇舟蛾 GSTs 的活性都有一定程度的抑制作用。但不同昆虫 GSTs 同工酶系的组成存在很大的差异,不同昆虫对同一种杀虫剂的代谢过程不同,对杀虫剂的抗性也不同。因此,研究各种昆虫的 GSTs 性质,明确各种杀虫剂对其抑制作用,对于找到针对具体昆虫的相应杀虫剂是相当必要的。

槲皮素和单宁是植物次生物质,都属于植物酚类。本研究结果表明槲皮素和单宁对分月扇舟蛾 GST 的抑制作用最强,抑制率分别达到 64.41% 和 58.61%。这与 Chen 等(2007)的研究结果一致。Chen 等(2007)研究发现槲皮素和单宁酸对棉铃虫 GSTs 体外抑制作用非常强,对中肠 GSTs 体外抑制率都在 95% 以上,对脂肪体 GSTs 体外抑制作用在 85% 以上;汤方等(2007)研究发现单宁酸对 2 种白蚁 GSTs 体外抑制率分别为 82.19% 和 57.80%;汤方等(2009)研究发现单宁酸对于杨扇舟蛾头、中肠和脂肪体 3 个组织的 GSTs 都有很强的抑制作用。因此,这些研究表明单宁和槲皮素作为防治昆虫杀虫剂或杀虫剂的增效剂具有很好的应用潜力,然而这些植物次生物质用来防治分月扇舟蛾或作为杀虫剂的增效剂还需要进一步的体内实验及生物测定等研究。

参考文献(References)

- Chen FJ, Zhang CZ, Gao XW, 2007. *In vitro* inhibition of glutathione S-transferases by several insecticides and allelochemicals in cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* Hübner. *J. Entomol. Sci.*, 42(2):296—305.
- Clark AG, 1989. The comparative enzymology of the glutathione S-transferases from non-vertebrate organisms. *Com. Biochem. Physiol. B: Biochem. Mol. Biol.*, 92(3):419—446.
- Habig WH, Pabst MJ, Jakoby WB, 1976. Glutathione S-transferase AA from rat liver. *Arch. Biochem. Biophys.*, 175(2):710—716.
- Listowsky I, Abramovitz M, Homma H, Niitsu Y, 1988. Intracellular binding and transport of hormones and xenobiotics by glutathione S-transferase. *Drug Metab. Rev.*, 19(3/4):305—318.
- Motoyama N, Dauterman WC, 1980. Glutathione S-transferases: their role in the metabolism of organophosphorus insecticides. *Rev. Biochem. Toxicol.*, 2:49—69.
- Rushmore TH, Pickett CB, 1993. Glutathione S-transferases, structure, regulation, and therapeutic implications. *J. Biol. Chem.*, 268(16):11475—11478.
- Yu SJ, 1986. Consequences of induction of foreign compounds metabolizing-enzyme in insects//Brattsten LB, Ahmad S (eds.). *Molecular Aspects of Insect-Plant Association*. New York: Plenum Press. 153.
- 汤方, 张秀波, 刘玉升, 高希武, 巨云为, 2009. 21 种杀虫剂和 3 种植物次生物质对杨扇舟蛾各组织谷胱甘肽 S-转移酶的抑制作用. *昆虫学报*, 52(5):576—581.
- 汤方, 朱涛, 高希武, 严敖金, 2007. 七种抑制剂对两种白蚁谷胱甘肽 S-转移酶活性抑制作用的比较. *昆虫学报*, 50(12):1225—1231.
- 杨振德, 朱麟, 赵博光, 方杰, 2004. 实验室群体饲养条件下分月扇舟蛾生物学特性初步研究. *广西科学院学报*, 20(1):35—37.