

## 艳婀珍蝶取食对薇甘菊叶片生理指标的影响

张玲玲<sup>1,3</sup>, 韩诗畴<sup>2,\*</sup>, 李志刚<sup>2</sup>, 刘楠<sup>1,3</sup>, 李丽英<sup>2</sup>, 罗莉芬<sup>2</sup>, 彭统序<sup>2</sup>, 刘文惠<sup>2</sup>

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 广东省昆虫研究所, 广州 510260; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 艳婀珍蝶取食后, 对薇甘菊叶片的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)的活性, 总酚含量, 有机自由基(DPPH·)清除能力进行分析。结果表明, 取食后3h内所测各量即发生变化, 但与对照差异不显著。取食4d中, 叶片的SOD、POD活性总体上分别高于对照, CAT活性总体上低于对照, 说明在艳婀珍蝶胁迫过程中, SOD和POD所起的作用比CAT大。取食叶SOD、POD活性均在48h时达到最大值, 之后下降; CAT活性在24h时达到最大值, 之后也迅速下降。取食叶PPO活性动态变化程度较大, 表现出3个峰值, 分别为对照的1.83, 1.92倍和2.17倍; 总酚含量表现为先上升后下降的趋势; 对DPPH·的清除力一直显著性甚至极显著性低于对照。取食叶的SOD与CAT和POD均呈正相关性, 且相关性大于对照; PPO与总酚含量在取食叶与对照中也均呈弱正相关性。实验结果表明, 薇甘菊的保护酶对艳婀珍蝶胁迫的应激效应是短暂而有限的, 艳婀珍蝶的取食破坏了薇甘菊叶片功能, 较大程度的干扰了薇甘菊保护酶系统的防御代谢, 薇甘菊的总抗氧化能力降低。薇甘菊也不能通过改变酚类物质含量来抵御艳婀珍蝶的取食, 艳婀珍蝶取食对薇甘菊有较明显的控制作用。

**关键词:** 薇甘菊; 艳婀珍蝶; 保护酶; 总酚; 有机自由基

**文章编号:** 1000-0933(2006)05-1330-07 **中图分类号:** Q143, Q948, Q968, S451 **文献标识码:** A

## Effects of *Actinote thalia pyrrha* (Fabricius) feeding on the physiological indexes in *Mikania micrantha* leaves

ZHANG Ling-Ling<sup>1,3</sup>, HAN Shi-Chou<sup>2,\*</sup>, LI Zhi-Gang<sup>2</sup>, LIU Nan<sup>1,3</sup>, LI Li-Ying<sup>2</sup>, LUO Li-Fen<sup>2</sup>, PENG Tong-Xu<sup>2</sup>, LIU Wen-Hui<sup>2</sup> (1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. Guangdong Entomological Institute, Guangzhou 510260, China; 3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1330 ~ 1336.

**Abstract:** *Mikania micrantha* is a dangerous exotic weed that is now widely distributed in Guangdong, China. The lepidopteran defoliator *Actinote thalia pyrrha* (Fabricius), introduced from the Indonesian Oil Palm Institute, is a potential biological control factor for *M. micrantha*. The change in activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD), polyphenoloxidase (PPO), the content of total phenolics and the capacity of scavenging 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH·) free radical in *M. micrantha* leaves were analyzed after infestation by the larvae of *A. thalia pyrrha*. The results showed that a slight change of all the indexes in damaged leaves appeared within 3h. After four days of *A. thalia pyrrha* infestation, the activities of SOD and POD in damaged leaves were higher than the control, but the activity of CAT was lower than the control indicating that the functions of SOD and POD were impeded more than CAT. The activities of SOD and POD reached their highest value after 48h of *A. thalia pyrrha* feeding, then decreased, while the highest activity of CAT occurred after 24h before decreasing. The activity of PPO fluctuated greatly, its three peak values were 1.83, 1.92 and 2.17 times that of the control. Total phenolics content increased at first then decreased after 72h of *A. thalia pyrrha* feeding. The capacity of scavenging DPPH· was

**基金项目:** 广东省科技计划资助项目(2KB06801S); 广东省自然科学基金资助项目(020322)

**收稿日期:** 2005-04-04; **修订日期:** 2005-09-01

**作者简介:** 张玲玲(1978~), 女, 山东日照人, 硕士生, 主要从事杂草生物防治研究. E-mail: zhanglingling10@yahoo.com.cn

**致谢:** 中国科学院华南植物园林植芳研究员、彭长连研究员、林桂珠老师在实验中给予悉心指导和帮助, 在此表示衷心感谢

**通讯作者** Corresponding author. E-mail: shichou-han@yahoo.com.cn

**Foundation item:** The project was supported by Guangdong Science Plan Foundation (No. 2KB06801S); Guangdong Natural Science Foundation (No. 020322)

**Received date:** 2005-04-04; **Accepted date:** 2005-09-01

**Biography:** ZHANG Ling-Ling, Master candidate, mainly engaged in biological control of exotic weed. E-mail: zhanglingling10@yahoo.com.cn

significantly lower than that of the control ( $p < 0.05$ ). SOD activity was positively correlated with CAT and POD activities for both damaged and normal leaves, however the value of correlation coefficient in damaged leaves was higher than in normal leaves. The content of total phenolics also showed a weak positive correlation with PPO activity. It is suggested that the protective response of *M. micrantha* to *A. thalia pyrrrha* infestation was short and limited, but resulted in reduced function of leaves, disturbed metabolism in the protective enzyme system, and decreased antioxidative capacity. *M. micrantha* was not able to resist the feeding stress by altering content of total phenolics.

**Key words:** *Mikania micrantha*; *Actinote thalia pyrrrha*; protective enzyme; total phenols; organic free radical

薇甘菊 (*Mikania micrantha*) 是菊科假泽兰属植物, 原产中美洲和南美洲, 目前在热带非洲、亚洲, 澳大利亚、南太平洋岛屿以及亚热带许多国家和地区皆报道有薇甘菊的存在, 对茶园、香蕉园、橡胶林、柚木林、森林等造成极大的危害<sup>[1,2]</sup>, 被称为“植物杀手”, 是世界上最具有危害性的杂草之一。1884 年香港动植物园引种栽培薇甘菊, 20 世纪 80 年代末到 90 年代薇甘菊已广泛分布于广东省沿海各地, 尤其珠江三角洲地带, 并造成极大危害<sup>[3,4]</sup>。对薇甘菊的防除目前主要采用人工清除、化学防除、生态防除和生物防治的方法, 其中生物防治被认为是最有前途的防治方法之一<sup>[5-7]</sup>。艳婀珍蝶 (*Actinote thalia pyrrrha* (Fabricius)) 隶属鳞翅目蛱蝶科婀珍蝶属 (*Actinote*), 是薇甘菊原产地的天敌昆虫<sup>[8]</sup>。印度尼西亚油棕研究所 1996 年从哥斯达黎加和巴西引进艳婀珍蝶防治薇甘菊, Desmier 博士 2003 年报道了他对艳婀珍蝶进行野外释放的试验, 结果表明艳婀珍蝶在野外能正常取食薇甘菊, 完成世代发育, 并能产卵进入下一世代的生长, 对薇甘菊的控制作用较好<sup>[9]</sup>。为控制薇甘菊的危害, 经有关部门批准广东省昆虫研究所从 2001 年 12 月开始从印度尼西亚油棕研究所引进艳婀珍蝶, 在实验室内已经能成功进行繁殖, 并对其生物学、生态学特性, 寄主专一性等方面进行了研究<sup>[10,11]</sup>。本文对艳婀珍蝶取食后薇甘菊叶片内细胞保护酶系统中超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、过氧化物酶 (POD)、多酚氧化酶 (PPO) 活性和总酚含量、有机自由基 (DPPH·) 清除能力的变化进行测定, 研究艳婀珍蝶取食后薇甘菊的这些保护酶活性、酚类物质及总抗氧化能力的变化, 为艳婀珍蝶对薇甘菊的控制作用提供基本依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

**1.1.1 虫源和植株** 艳婀珍蝶为印度尼西亚油棕研究所引进后繁殖的第 2 代, 薇甘菊 2004 年 11 月在广东省昆虫研究所用口径 15cm 高 10cm 的花盆扦插种植, 每盆 1 株。

**1.1.2 实验处理** 取生长 40d 左右的长势整齐一致的盆栽薇甘菊, 于早上 8:00, 将预先饥饿 3h 的 25 头发育一致的 4 龄中期艳婀珍蝶幼虫转到植株的中上部。按 3.0, 6.0, 12.0, 24.0, 48.0, 72.0, 96.0h 的时间间隔, 从至少 5 盆盆栽薇甘菊上, 用剪刀剪取离顶芽第 4~5 位的艳婀珍蝶幼虫直接取食叶的剩余部分, 洗净, 称重, 保存于 -40℃ 冰箱中, 以备测定。同时, 剪取未接虫植株上的相应叶位的叶作对照。

实验处理在广东省昆虫研究所天敌繁殖实验室内进行, 温度 (25 ± 1)℃, 相对湿度 80% ± 5%。每一实验重复测定 3 次。

**1.1.3 主要仪器** 紫外分光光度计 (Lambda 25, Pekin Elmer, USA), 冷冻离心机 (CR22G, CR-21, Hitachi, Japan)。

### 1.2 实验方法

SOD 活性参照 Giannopolitis 和 Ries 的方法<sup>[12]</sup> 测定, 以单位时间内抑制光化还原 50% 的氯化硝基四氮唑蓝 (NBT) 为一个酶活性单位 (U); CAT 活性参照曾韶西等的方法<sup>[13]</sup> 测定, 以每分钟内使 OD<sub>240</sub> 减少 0.01 的酶量为 1 个酶活性单位 (U); POD 活性参照华东师范大学的方法<sup>[14]</sup> 测定, 以 OD<sub>470</sub> 每分钟升高 0.001 个单位为酶活性单位 (U); PPO 活性参照蒋跃明的方法<sup>[15]</sup> 测定, 以 OD<sub>410</sub> 每分钟变化 0.001 个单位为酶活性单位 (U); 有机自由基 (DPPH·) 消除能力参照彭长连等的方法<sup>[16]</sup>, 利用 DPPH (1, 1-二苯基苦基苯肼) 溶液的特征紫红色团的吸收

峰,以分光光度法测定加植物提取液后  $A_{525}$  吸收的下降表示其对有机自由基消除能力;总酚含量测定参照朱广廉等的方法<sup>[17]</sup>,用没食子酸作标准曲线;可溶性蛋白参照 Bradford<sup>[18]</sup>的方法测定,以牛血清蛋白作标准曲线。

### 1.3 数据处理

用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理,用 SPSS11.5 进行相关性分析和差异显著性比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 SOD 活性变化

在细胞保护酶系统中,SOD 的作用是快速催化超氧阴离子自由基  $O_2^-$  进行歧化反应生成  $H_2O_2$  和  $O_2$ ,避免超氧自由基对膜的伤害<sup>[19,20]</sup>。如图 1 所示,薇甘菊受艳婀珍蝶取食至 3h 时,SOD 活性就高于对照,但差异不显著。3~12h 内,取食叶与对照叶的 SOD 活性均呈先降后升的趋势,且取食叶的 SOD 活性一直高于对照,12h 时 SOD 活性是对照的 1.54 倍。12~24h 间,仍保持相应的水平。48h 时,取食叶的 SOD 活性达到一个峰值,为对照的 4.52 倍,差异极显著( $p < 0.01$ ),之后迅速下降,96h 时,取食叶的 SOD 活性极显著( $p < 0.01$ )低于对照。艳婀珍蝶取食后的最初 72h 内,薇甘菊 SOD 活性均高于对照,可见艳婀珍蝶取食迅速诱导薇甘菊 SOD 活性升高,薇甘菊的保护性应激反应迅速。延长取食时间,使 SOD 活性下降,说明艳婀珍蝶长时间的生物胁迫导致薇甘菊细胞结构与功能的破坏,从而将影响 SOD 的表达和激活。

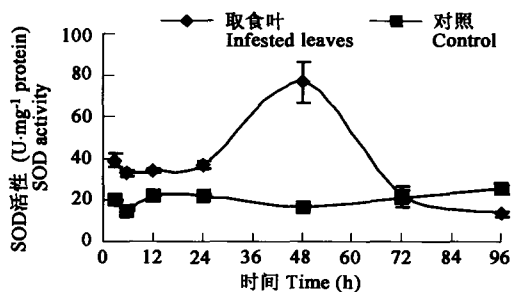


图 1 艳婀珍蝶取食后薇甘菊叶片的 SOD 活性变化

Fig.1 Change in SOD activity in *M. micrantha* leaves after infestation by *A. thalia pyrria* (Fabricius)

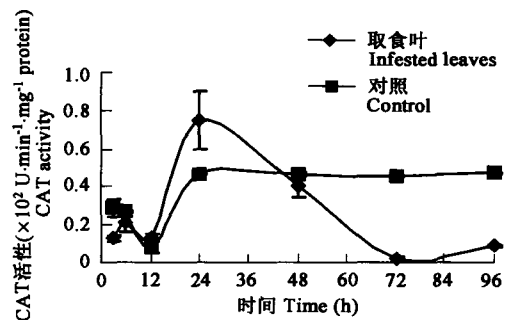


图 2 艳婀珍蝶取食后薇甘菊叶片的 CAT 活性变化

Fig.2 Change in CAT activity in *M. micrantha* leaves after infestation by *A. thalia pyrria* (Fabricius)

### 2.2 CAT 活性变化

CAT 主要起酶促降解  $H_2O_2$  的作用,避免因  $H_2O_2$  的过量积累导致毒性更大的羟自由基含量增加而对细胞膜产生伤害,且对高浓度的  $H_2O_2$  清除效果较好<sup>[20,21]</sup>。图 2 可见,24h 内对照的 CAT 活性呈先缓慢下降后急剧上升的趋势,之后几天活性基本不变。3h 时取食叶 CAT 活性下降为对照的 43.86%,之后上升,6h 时仍低于对照。被取食叶片在 12h 之前 CAT 活性低于或者接近对照叶的水平,随后明显上升,24h 时达最高值,此时取食叶的 CAT 活性比对照高出 60.16%,之后活性急剧下降,72h 时极显著性低于对照( $p < 0.01$ )。艳婀珍蝶取食后薇甘菊的 CAT 活性总体呈下降趋势,说明 CAT 不能有效清除细胞内产生的过量的  $H_2O_2$ ,容易引起羟自由基增加而启动膜脂过氧化,导致膜透性增大,薇甘菊叶片将因生理功能丧失而衰老死亡。

### 2.3 POD 活性变化

POD 也是一种重要的保护酶,它参与木质素的合成、酚类物质及植保素的合成<sup>[22]</sup>,并在木质素合成的最后一步反应过程中催化  $H_2O_2$  分解而发挥作用<sup>[23]</sup>。如图 3 所示,对照 POD 活性在 24h 内表现出先降后升再降的趋势,而取食叶在 96h 内的变化呈双峰形。取食至 12h 时出现一个小峰,活性比对照较高,24h 后 POD 活性急剧上升,48h 时的高值为对照叶的 3.51 倍,之后活性下降,96h 时已极显著性低于对照( $p < 0.01$ )。艳婀珍蝶取食 6h 内薇甘菊的 POD 和 CAT 活性均低于对照,可见艳婀珍蝶取食可迅速引起薇甘菊叶片组织损伤,细

胞膜系统结构破坏和功能的降低,对薇甘菊的控制作用迅速。

### 2.4 PPO 活性变化

PPO 是引起酶促褐变的主要酶类,与植物抗性有关,它可以通过形成醌类物质抵御病菌等的胁迫<sup>[24,25]</sup>。如图 4 所示,对照 PPO 活性在 4d 内变化平缓,而取食叶的 PPO 活性波动比较大,表现出 3 个峰值,取食至 3, 12,72h 时分别为对照的 1.83,1.92 倍和 2.17 倍,但在 24h 和 48h 时低于对照植株,且 72h 后活性下降,96h 时明显低于对照。PPO 活性虽表现出明显的动态变化,但总体上高于对照,说明艳婀珍蝶的取食能较快诱导薇甘菊叶片的 PPO 活性而参与酶促褐变。对叶片表观性状的观察表明,艳婀珍蝶幼虫取食后 5d 内薇甘菊局部叶片即枯萎变褐,与实验结果符合。

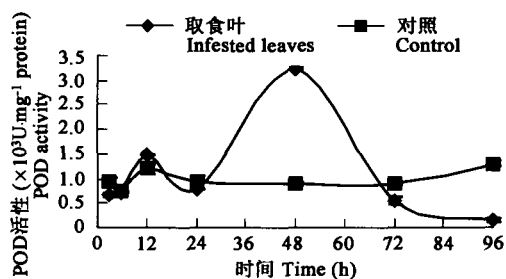


图 3 艳婀珍蝶取食后薇甘菊叶片的 POD 活性变化

Fig.3 Change in POD activity in *M. micrantha* leaves after infestation by *A. thalia pyrrha* (Fabricius)

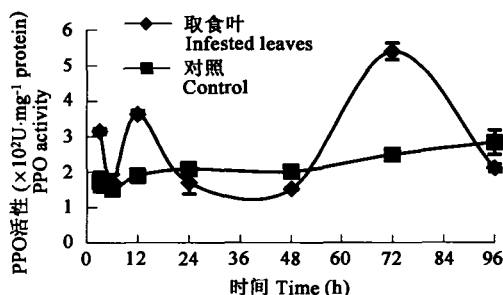


图 4 艳婀珍蝶取食后薇甘菊叶片的 PPO 活性变化

Fig.4 Change in PPO activity in *M. micrantha* leaves after infestation by *A. thalia pyrrha* (Fabricius)

### 2.5 总酚含量的变化

如图 5 所示,12h 内,取食叶与对照的总酚含量均呈先升后降的变化趋势,取食叶的总酚含量均高于对照,但差异不显著。24h 时取食叶的总酚含量降至一个低谷,仅为对照的 19.48%,差异极显著 ( $p < 0.01$ )。24~48h 内取食叶的总酚含量缓慢上升,72h 时快速上升为对照的 1.83 倍,与图 4.PPO 活性在 72h 出现高峰相一致。在前 24h 内测定的总酚含量中,对照总酚含量在 20:00 含量最低,几天内同一时间变化不大。

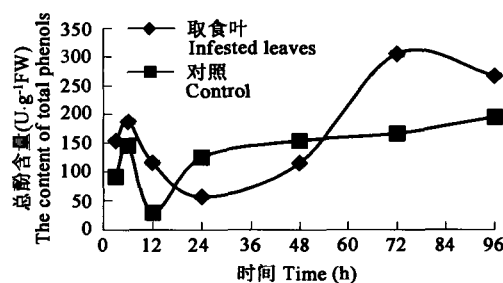


图 5 艳婀珍蝶取食后薇甘菊叶片的总酚含量变化

Fig.5 Change in the content of total phenols in *M. micrantha* leaves after infestation by *A. thalia pyrrha* (Fabricius)

### 2.6 有机自由基 DPPH 清除能力变化

DPPH 法是评价植物总的抗氧化能力的一种快速、简便、灵敏、直接可行的方法<sup>[16]</sup>。如图 6.A 所示,取食叶 DPPH. 实际清除量都明显低于对照。在艳婀珍蝶取食 12h 内,薇甘菊表现出与对照同样的先升后降的趋

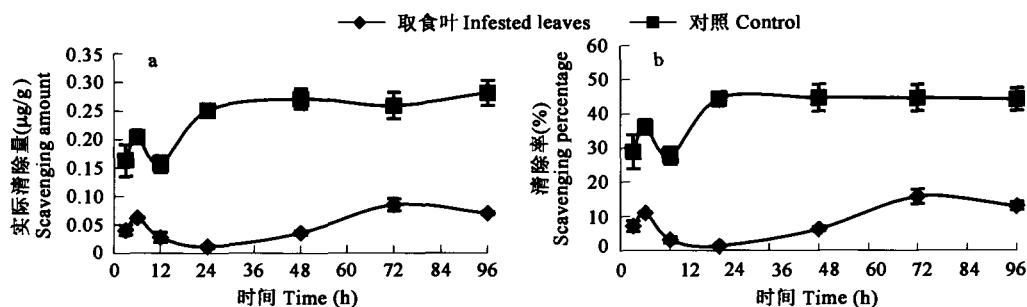


图 6 艳婀珍蝶取食后薇甘菊叶片清除 DPPH 自由基能力的变化

Fig.6 Change in scavenging capacity to DPPH. radical in *M. micrantha* leaves after infestation by *A. thalia pyrrha* (Fabricius)

a. 清除量 Scavenging amount; b. 清除率 Scavenging percentage

势,24h时,取食叶的 DPPH 实际清除量仅为对照的 2.91%,差异极显著( $p < 0.01$ ),之后有缓慢上升,但 72h 后又呈下降趋势,且取食叶的 DPPH 实际清除量一直显著性低于对照( $p < 0.05$ )。如图 6. B 所示,取食叶和对照的 DPPH 清除率都表现出与图 6. A 相同的变化趋势。可见,艳婀珍蝶取食,导致薇甘菊的总抗氧化能力明显下降,细胞容易受氧化而造成损伤。

### 3 讨论

植物体内  $O_2^{\cdot-}$ ,  $H_2O_2$ ,  $\cdot OH$  和  $^1O_2$  被称为活性氧(Reactive Oxygen Species, ROS),这些活性氧对生物膜系统、光合机构及许多生物功能分子有破坏作用<sup>[12]</sup>。正常生长情况下,植物体内的活性氧不断的产生,同时也不断的被清除,在植株体内处于动态平衡,因而不会对植株造成伤害。在逆境条件下,活性氧因代谢失衡而过度积累,导致膜脂过氧化水平提高,膜的透性增加,膜结构和功能性分子受损伤而对细胞造成伤害<sup>[26-28]</sup>。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)都是主要的活性氧清除酶类,它们协同作用,保护植物抵御外界胁迫。

本实验结果表明,被取食叶的 SOD、POD 活性总体上均高于对照,CAT 活性总体上低于对照,说明在艳婀珍蝶胁迫过程中,SOD 和 POD 所起的作用比 CAT 大。被取食叶的 SOD、CAT、POD 活性前期 24h 前高于对照,说明薇甘菊保护酶反应是系统性的应激作用,艳婀珍蝶取食前期 SOD 活性过量表达,其产物  $H_2O_2$  可能导致 CAT 和 POD 活性升高,避免  $O_2^{\cdot-}$  和  $H_2O_2$  自身及其强氧化性的衍生物  $\cdot OH$  对细胞的氧化伤害。3 种保护酶活性的高值期分别出现于 24h(CAT)和 48h(SOD, POD),随后活性下降的现象说明艳婀珍蝶幼虫取食胁迫诱导的薇甘菊的保护作用是短暂而有限的,而相对于 CAT 而言,SOD 和 POD 可维持较长的活性功能期。被取食薇甘菊叶片总的抗氧化能力显著性下降( $p < 0.05$ ),说明艳婀珍蝶的取食,还可能影响了非酶促保护系统,如小分子的抗氧化剂的水平,干扰了薇甘菊的防御代谢。

CAT 和 POD 利用 SOD 的产物进行歧化反应,SOD 与 CAT 和 POD 之间有一定的关联。杨广等人的研究<sup>[29]</sup>结果表明,白菜品种上海青正常植株的 SOD 与 CAT 和 POD 有一定正相关;而植株受小菜蛾取食为害后,受害叶片和未直接受害叶 SOD 与 CAT 为负相关,而 SOD 与 POD 为正相关。本研究表明,薇甘菊正常植株的 SOD 与 CAT 和 POD 有一定正相关( $r$  分别为 0.316 和 0.850),而植株受艳婀珍蝶取食为害后,SOD 与 CAT 和 POD 的正相关性增大( $r$  分别为 0.463 和 0.935),可见薇甘菊保护酶之间对外加胁迫的反应是具有协同性的,其中尤以 SOD 与 POD 的协同性更佳。总酚含量与 PPO 活性有关,但正常植株与艳婀珍蝶取食后植株总酚含量与 PPO 活性的正相关性均未发现较大变化( $r$  分别为 0.581 和 0.547)。

艳婀珍蝶取食后的薇甘菊叶片和对照薇甘菊叶片的几个酶类活性和酚类物质含量均呈动态变化,因为自然生长的植物其代谢过程本身就是动态的<sup>[30,31]</sup>,动态调节机制是抵御逆境维持正常状态的最为理想的整体防御机制。庄炳昌等的研究<sup>[32]</sup>表明,许多植物感病以后 PPO 活性提高一倍至十几倍。本实验中,艳婀珍蝶取食后薇甘菊的 PPO 活性总体上提高两倍左右,且表现出与总酚含量近似的较大程度的动态变化,表明 PPO 活性提高与其底物酚类含量增多有关。高 PPO 活性诱导薇甘菊叶片较快的变褐,可能是薇甘菊通过加快细胞死亡来引起艳婀珍蝶拒食的一种策略,但艳婀珍蝶在取食完整张叶片后才转移到另外的叶片上,因而这种防御对艳婀珍蝶取食的影响不大。薇甘菊是否能通过提高 PPO 活性产生比酚类具有更强毒性的醌类来抵御艳婀珍蝶的为害尚需深入研究。

酚类物质是一类具有抗逆性的化学物质。有些植物在受到植食性昆虫取食后,通过酚类化合物的含量增加,影响植食性昆虫的发育和种群发展<sup>[33-35]</sup>,抵御昆虫为害。艳婀珍蝶取食后,薇甘菊酚类物质初始时增加,接着下降,后期再增加,这与 Rossiter 等<sup>[36]</sup>报道的,当栎属植物 *Quercus rubra* 叶片遭受 *gypsy moth* 为害程度较轻时,叶片中酚类物质含量比对照低,而为害较重时,酚类物质含量上升的结果稍有差异,前期 24h 内总酚含量升高可能是由于植物种类或者实验条件不同之故。

对于艳婀珍蝶取食后,薇甘菊叶片的营养物质及次生物质含量变化,艳婀珍蝶取食过程中能否释放化学物质,以及能否诱导薇甘菊产生自毒性物质来加快对薇甘菊的控制,各种作用的机理和分子基础等都有待进

一步研究。

#### References:

- [ 1 ] Waterhouse D F. Biological control of weeds: Southeast Asia prospects. Canberra: ACIAR, 1994. 124 ~ 135.
- [ 2 ] San Sarma P K, Mishra S C. Biological control of forest weeds in India-retrospect and prospects. Indian Forester, 1986, 112: 1088 ~ 1093.
- [ 3 ] Feng H L, Cao H L, Liang X D, et al. The distribution and harmful effect of *Mikania micrantha* in Guangdong. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2002, 10(3): 263 ~ 270.
- [ 4 ] Zan Q J, Wang Y J, Wang B X, et al. The distribution and harm of the exotic weed *Mikania micrantha*. Chinese Journal of Ecology, 2000, 19(6): 58 ~ 61.
- [ 5 ] Palit S. *Mikania*—a growing menace in plantation forestry in West Bengal. Indian Forester, 1981, 107: 97 ~ 107.
- [ 6 ] Muniappan R, Viraktanmath C A. Invasive alien weeds in the Western Ghats. Current Science, 1993, 64: 555 ~ 557.
- [ 7 ] Zhang W Y, Wang B S, Liao W B. Progress in studies on an exotic vicious weed *Mikania micrantha*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(12): 1684 ~ 1688.
- [ 8 ] McFadyen R E. Insects and mites attacking *Eupatorium odoratum* in the Neotropics. C. I. B. C. Technical Bulletin of the Commonwealth Institute of Biological Control, 1974, 17: 84 ~ 125.
- [ 9 ] Desmier de chenon R. Feeding preference tests of two Nymphalid butterflies, *Acinote thalia pyrrrha* and *Acinote antea*s from South America for the biocontrol of *Mikania micrantha* (Asteraceae) in South East Asia. In: Runjie Zhang, Changqing Zhou, Hong Pang, et al. eds. Exotic pest and their control. Guangzhou: Sun Yat Sen University Press, 2003. 201.
- [ 10 ] Li Z G, Han S C, Guo M F, et al. Biology and host specificity of *Acinote antea*s, a biocontrol agent for controlling *Mikania micrantha*. Chinese Journal of Biological Control, 2004, 20(3): 170 ~ 173.
- [ 11 ] Li Z G, Han S C, Guo M F, et al. Rearing *Acinote thalia pyrrrha* and *Acinote antea*s on potted *Mikania micrantha*. Entomological Knowledge, 2003, 40(6): 561 ~ 564.
- [ 12 ] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutase II. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. Plant Physiol, 1977, 59: 315 ~ 318.
- [ 13 ] Zeng S X, Wang Y R, Liu H X. Some enzymatic reactions related to chlorophyll degradation in cucumber cotyledons under chilling in the light. Acta Phytobiologica Sinica, 1991, 17(2): 177 ~ 182.
- [ 14 ] The teaching and research group in biology department of south east normal university. Experimental Guide of Plant Physiology. Beijing: People Education Press, 1980. 143.
- [ 15 ] Yue M J. Purification and some properties of polyphenol oxidase of longan fruit. Food Chemistry, 1999, 66: 75 ~ 79.
- [ 16 ] Peng C L, Chen S W, Lin Z F, et al. Detection of antioxidative capacity in plants by scavenging organic free radical DPPH. Prog. Biochem. Biophys., 2000, 27(6): 367 ~ 370.
- [ 17 ] Zhu G L, Zhong H W, Zhang A Q. Experiments of plant physiology. Beijing: Peking University Press, 1990. 229 ~ 231.
- [ 18 ] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem., 1976, 72: 248 ~ 254.
- [ 19 ] Tong F D, Hu J S, Chen J H, et al. Effect of the different methods of rice nursery on activity of superoxide dismutase, ion leakage of rice leaves and root growing power. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1997, 23(6): 682 ~ 686.
- [ 20 ] Yang S C, Xie C T, Zhang P, et al. Change in Membrane Lipid Peroxidation and Activities of Cell Defense Enzyme in Leaves of *Butiacapitata Becc* Seedling under Low Temperature Stress. Acta Horticulture Sinica, 2003, 30(1): 104 ~ 106.
- [ 21 ] Sun S J, Zhao L Y, Yu S C, et al. Study on the Physiological Mechanism of Postharvest Senescence in Flower Buds of *Rosa rugosa* Cultivars in Pingyin County. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(5): 79 ~ 83.
- [ 22 ] Yang Y F, Liang Y C, Lou Y S, et al. Influences of silicon on peroxide dismutase activity and lignin content of wheat (*Triticum aestivum* L.) and its relation to resistance to powdery mildew. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(7): 813 ~ 817.
- [ 23 ] Abeles F B, Biles C L. Characterization of peroxidases in lignifying peach fruit endocarp. Plant Physiol, 1991, 95: 269 ~ 273.
- [ 24 ] Avdiushko S A, Ye X S, Kuc J. Detection of several enzymatic activities in leaf prints cucumber plant. Physiol. Mol. Plant Pathol., 1993, 42: 441 ~ 454.
- [ 25 ] Vidhyasekaran P. Physiology of Disease Resistance in Plants. Volume II. 1988. 12 ~ 13.
- [ 26 ] Cao Y Z, Song Z W. Plant Physiology. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1998. 396.
- [ 27 ] Zhang J F, Xue Q Z. The activity dynamics of main protective enzymes in rice plants under feeding stresses of *sogatella furcifera* and *nilaparvata lugens*.

- Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(10): 1487 ~ 1491.
- [28] Li M, Wang G X. Effect of drought stress on activities of cell defense enzymes and lipid peroxidation in *Glycyrrhiza uralensis* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 503 ~ 507.
- [29] Yang G, Xu Q Y, You M S. The change of activities of protective enzymes in Chinese cabbage infested by diamondback moth, *plutella oxylostella*. *Entomological Journal of East China*, 2004, 13(1): 48 ~ 54.
- [30] Wang H B, Wu G H, Gao W D. Studies on *Tetranychus cinnabarinus*-*Solanum melongena* interaction system I. Relationship between population dynamics of red spider and tannic acid fluctuation in plant leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1993, 4(2): 174 ~ 177.
- [31] Wang H B, Tao Y, Jin S. Chitinase in *Vicia faba* leaves: induction by *Aphis craccivora*—a convergent plant physiological stress reaction. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1994, 5(1): 68 ~ 71.
- [32] Zhuang B C, Wang Y M, Xie X J. Changes of some biochemical characters of soybean with different resistant levels infected by *Cercospora So jina* Hara. *Acta Agronomica Sinica*, 1993, 19(6): 567 ~ 570.
- [33] Hunter M D, Schultz J C. Fertilization mitigates chemical induction and herbivore responses within damaged oak trees. *Ecology*, 1995, 76(4): 1226 ~ 1232.
- [34] Bryant J P, Reichardt P B. Effects of mineral nutrition on delayed inducible resistance in Alaska Paper Birch. *Ecology*, 1993, 74(7): 2077 ~ 2084.
- [35] Schultz J Z, Baldwin I T. Oak leaf quality declines in response to defoliation by Gypsy Moth. *Science*, 1982, 217: 149 ~ 151.
- [36] Rossiter M, Schultz J C, Baldwin I T. Relationships among defoliation, red oak phenolics, and gypsy moth growth and reproduction. *Ecology*, 1988, 69(1): 267 ~ 277.

#### 参考文献:

- [3] 冯惠玲, 曹洪麟, 梁晓东, 等. 薇甘菊在广东的分布与危害. *热带亚热带植物学报*, 2002, 10(3): 263 ~ 270.
- [4] 管启杰, 王勇军, 王伯逊, 等. 外来杂草薇甘菊的分布及危害. *生态学杂志*, 2000, 19(6): 58 ~ 61.
- [7] 张炜银, 王伯荪, 廖文波, 等. 外域恶性杂草薇甘菊研究进展. *应用生态学报*, 2002, 13(12): 1684 ~ 1688.
- [10] 李志刚, 韩诗畴, 郭明昉, 等. 安婀珍蝶的生物学及其寄主专一性. *中国生物防治*, 2004, 20(3): 170 ~ 173.
- [11] 李志刚, 韩诗畴, 郭明昉, 等. 利用盆栽薇甘菊繁殖婀珍蝶的方法. *昆虫知识*, 2003, 40(6): 561 ~ 564.
- [13] 曾韶西, 王以柔, 刘鸿先. 低温光照下与黄瓜子叶叶绿体降解有关的酶促反应. *植物生理学报*, 1991, 17(2): 177 ~ 182.
- [14] 华东师范大学生物系植物生理教研组. *植物生理学实验指导*. 北京: 人民教育出版社, 1980. 143.
- [16] 彭长连, 陈少薇, 林植芳, 等. 用有机自由基 DPPH 法评价植物抗氧化能力. *生物化学与生物物理进展*, 2000, 27(6): 367 ~ 370.
- [17] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. *植物生理学实验*. 北京: 北京大学出版社, 1990. 229 ~ 231.
- [19] 董富淡, 胡家恕, 陈进红, 等. 不同育秧方式对早稻叶片 SOD 活性、电解质渗透率和发根力的影响. *浙江农业大学学报*, 1997, 23(6): 682 ~ 686.
- [20] 杨盛昌, 谢潮添, 张平, 等. 低温胁迫下弓葵幼苗膜脂过氧化及保护酶活性的变化. *园艺学报*, 2003, 30(1): 104 ~ 106.
- [21] 孙守家, 赵兰勇, 于守超, 等. 平阴玫瑰鲜花花蕾采后衰老生理机制研究. *林业科学*, 2004, 40(5): 79 ~ 83.
- [22] 杨艳芳, 梁永超, 姜运生, 等. 硅对小麦过氧化物酶、超氧化物歧化酶和木质素的影响及与抗白粉病的关系. *中国农业科学*, 2003, 36(7): 813 ~ 817.
- [26] 曹仪植, 宋占午. *植物生理学*. 兰州: 兰州大学出版社, 1998. 396.
- [27] 张金锋, 薛庆中. 稻飞虱为害胁迫对水稻植株内主要保护酶活性的影响. *中国农业科学*, 2004, 37(10): 1487 ~ 1491.
- [28] 李明, 王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响. *生态学报*, 2002, 22(4): 503 ~ 507.
- [29] 杨广, 徐清元, 尤民生. 小菜蛾取食后上海青的保护酶活力变化. *华东昆虫学报*, 2004, 13(1): 48 ~ 54.
- [30] 王海波, 吴干红, 高闻达. 茄子和朱砂叶螨相互作用系统的研究 I. 叶螨种群动态与茄子叶片单宁酸含量变动的关系. *应用生态学报*, 1993, 4(2): 174 ~ 177.
- [31] 王海波, 陶芸, 金沙. 蚕豆叶片几丁质酶活性的蚜虫诱导——植物生理应激反应的趋同性. *应用生态学报*, 1994, 5(1): 68 ~ 71.
- [32] 庄炳昌, 王玉民, 谢雪菊. 抗性不同的大豆品种感染灰斑病后若干生化反应. *作物学报*, 1993, 19(6): 567 ~ 570.