

单宁酸对红色和绿色豌豆蚜酶活性的影响

梁瑶, 吴宜亭, 马瑞, 魏江文, 姚路, 刘磊, 宋丽雯, 王森山

(甘肃农业大学植物保护学院, 甘肃省农作物病虫害生物防治工程实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】明确单宁酸对红色和绿色豌豆蚜酶活性的影响。【方法】设不同浓度单宁酸(1 mg/L、3 mg/L、5 mg/L)分别饲喂两种色型的5 d龄豌豆蚜, 处理不同时间后测定豌豆蚜体内超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、羧酸酯酶(CarE)及细胞色素P450s酶(CYP450)活性。【结果】豌豆蚜取食不同浓度单宁酸后, 体内4种酶的响应程度不同。红色型豌豆蚜CarE与CYP450酶活性均在24 h处理的单宁酸浓度为3 mg/L时达最大值, 分别为 $(0.029 \pm 0.002) \mu\text{mol}/(\mu\text{g} \cdot \text{min})$ 和 $(0.006 \pm 0.0009) \mu\text{mol}/(\mu\text{g} \cdot \text{min})$, 和对照间差异显著($P < 0.05$); 绿色型豌豆蚜SOD与POD酶活性均在72 h处理的单宁酸浓度为3 mg/L时最高, 分别达 $(0.028 \pm 0.004) \mu\text{g}/\text{mg}$ 和 $(1.679 \pm 0.172) \mu\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{min})$, 和单宁酸浓度为5 mg/L的处理间差异显著($P < 0.05$)。【结论】红色和绿色豌豆蚜取食不同浓度单宁酸后, 体内SOD、POD、CarE和CYP450酶活性均有不同程度的影响; 相同处理时间, 同种酶的活性在红绿色型豌豆蚜内的升高或降低程度不同; 同种色型豌豆蚜取食不同浓度单宁酸后, 体内不同酶的活性变化不同。

关键词: 豌豆蚜; 超氧化物歧化酶; 过氧化物酶; 羧酸酯酶

中图分类号: S433.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2024)03-0217-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2024.03.026



豌豆蚜(*Acyrtosiphon pisum*)寄主十分广泛, 主要包括大豆、豌豆、蚕豆、苜蓿和三叶草等, 以刺吸式口器吸食牧草及大部分豆科作物的汁液, 造成寄主植株受损^[1]。豌豆蚜具有体色多态性, 分为红色型和绿色型, 两种色型的豌豆蚜对环境的适应性以及对寄主植物的危害程度存在显著差异, 目前对绿色型豌豆蚜研究较多^[2], 而红色型豌豆蚜主要分布在我国西北小部分地区, 研究相对较少, 根据调查近年来的红色型豌豆蚜数量逐渐上升, 一旦爆发成灾, 很难在短时间

内进行有效的防治。如何防治两种色型的豌豆蚜成多样, 目前杀虫剂的使用仍然占据主导地位, 化学药剂具有防治成本低, 易于使用, 见效快等特点, 同时也会带来威胁人类健康和生命, 对环境造成严重污染等问题^[3]。随着时代的不断进步, 豌豆蚜的防治技术也在不断更新, 生物防治逐渐引起了人们的重视。相比化学防治, 生物防治的开发选择性及其应用较强, 对环境较友好, 因此生物防治在农林产业结构当中具有特殊的地位。

植物次生代谢物质是一种化学物质, 通常由植物通过次生代谢途径产生。在进化过程中, 植物为了创造有利于自身生存的环境, 使自身在生长过程中能够始终处于有利地位, 同时为了抵御病虫害的入侵保护自身不受侵害, 植物会通过次生代谢途径来产生多种多样的植物次生代谢物质^[4]。目前, 人们发现与植物对昆虫的防御相关的次生代谢物主要包括酚类、含碱类化合物、含氮化合物及萜烯类等^[5-6]。它们在植物的生长调节、木质素合成以及代谢调节中起着重要作

收稿日期: 2023-03-23; **修回日期:** 2023-06-06

基金资助: 甘肃省自然科学基金项目(20JR5RA028); 甘肃省高等学校创新基金项目(2022A-060); 甘肃农业大学公招博士科研启动项目(GAN-KYQD-2019-28)

作者简介: 梁瑶(1998-), 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事害虫综合治理研究。

E-mail: liangyao111496@163.com

*通信作者。E-mail: wangsenshan@gsau.edu.cn

用^[7]。其中酚类化合物能够在昆虫体内积累,并对昆虫的繁殖和生长发育产生一定毒害作用^[8]。单宁酸属于酚类物质,广泛存在于苜蓿、蚕豆和豌豆等植物体内^[9],不仅能够防御植食性昆虫的取食,而且能够抑制昆虫的生长发育,在植物抵御病虫害中占有重要角色^[10-11]。有研究发现蓟马取食苜蓿后可诱导苜蓿体内单宁等植物次生代谢物质的含量增加^[12]。单宁酸不仅能够影响一些含金属元素酶的活性,导致营养物质的消化吸收效率降低,同时可与唾液蛋白互作,使植株产生苦涩味从而减少昆虫对植物的取食^[13-15]。因此研究单宁酸对昆虫体内相关生理生化过程的影响,利用单宁酸等植物次生物质来防治蚜虫是近年来的研究热点之一。

植食性昆虫为了降低植物次生代谢物质对自身的危害,进化出了不同的解毒代谢机制。超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)和过氧化物酶(Peroxisome, POD)是两种保护酶。SOD的主要作用是清除生物体内的羟基自由基(OH)和超氧自由基(O²⁻); POD发生作用的机理是利用过氧化氢(H₂O₂),催化过氧化物的氧化分解,从而清除有害物质,维持昆虫体内正常生理生化^[16-17]。羧酸酯酶(Carboxylesterase, CarE)和细胞色素 P450(Cytochrome P450, CYP450)是昆虫体内的2种重要解毒酶,能够代谢外源和内源有毒物质,是昆虫适应逆境胁迫和植物防御的重要方式^[18-21]。朱香镇用棉酚和芸香苷饲喂不同龄期绿盲蝽若虫,每隔24 h测定若虫体内保护酶活性,结果表明随着植物次生物质浓度的升高,3种保护酶的活性分别在不同浓度处理下达到最大值。绿盲蝽受到不同浓度外源次生物质胁迫后,不同保护酶的响应程度也不同^[20]。陈德霞发现用4种牧草饲喂亚洲小车蝗,取食次生物质含量最低的克氏针茅后,亚洲小车蝗存活率、发育速率、生活力最高,解毒酶和保护酶活性最低^[21]。因此,不同的植物次生代谢物会对昆虫的生长发育产生不同程度的影响。黄训兵测定了用4种植物次生代谢物质处理后亚洲小车蝗体内的3种解毒酶和保护酶的活性,发现其活性均与对照之间存在显著差异,苦参碱和烟碱毒性表现最强,单宁酸和芦丁的毒性次之^[22]。

基于上述研究分析,本研究以不同浓度单宁酸处

理对红色和绿色豌豆蚜体内 SOD、POD、CarE 和 CYP450 酶活性的影响这一问题展开研究,利用植物介导法饲喂两种色型豌豆蚜,测定两种色型豌豆蚜在取食单宁酸后体内4种酶的活性变化,探讨分析单宁酸对豌豆蚜保护酶和解毒酶活性的影响,解析红色型豌豆蚜与绿色型豌豆蚜代谢植物次生物质的机制,研究结果可为阐明植物次生代谢物质抗豌豆蚜的生化机理提供理论依据,也可为豌豆蚜的绿色防控技术的开发利用奠定基础。

1 材料和方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试植物材料 蚕豆(临蚕6号)种子用清水泡发3~5 d,播种于底部打孔的塑料杯(d=5 cm、h=10 cm)中,每杯两粒种子,覆盖营养基质土。置于人工气候培养箱 T=(20±1)°C, L:D=16 h:8 h, RH=(70±5)%中培养,育苗30杯。

1.1.2 供试虫源 在甘肃农业大学牧草试验田中采集红、绿两种不同色型的豌豆蚜,以单头豌豆蚜在室内盆栽蚕豆上饲养建立种群,豌豆蚜与蚕豆(临蚕6号)植株均放置在人工气候箱内培养。挑选上述豌豆蚜置于脱脂棉保湿的离体20 d龄蚕豆新叶上,于人工气候箱下饲养12 h,待其产蚜后,剔除成蚜,保留若蚜,选取5 d龄若蚜后用不同浓度单宁酸处理。

1.1.3 主要仪器及试剂 主要仪器:酶标仪(BioTek Instruments, Inc)、高速冷冻离心机、水浴锅、AL104型的万分之一分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司)、SPX-300型光照培养箱(上海跃进医疗器械有限公司)、Eppendorf型移液枪、96孔板(96 Well Cell Culture Plate, Corning Incorporated)、养虫笼等。

单宁酸来源:购自 Med Chem Express 公司。

药剂配制:选用蒸馏水作为溶剂,将单宁酸配制成1、3及5 mg/L的溶液。

POD 和 SOD 酶活性测定所需试剂:50 mmol/L pH 值=7.8 的磷酸缓冲液、NBT(氯化硝基四氮唑蓝)、核黄素、愈创木酚、Met(甲硫氨酸)、无水乙醇、30% 过氧化氢。其余化学试剂均是国产分析纯试剂。

CarE、CYP450 酶活性测定所需试剂:EDTA(乙二胺四乙酸)、66 mmol/L pH 值=7.0 的磷酸缓冲液

(含 2 mmol/L EDTA)、0.03 mol/L CDNB(2,4-二硝基氯苯)、丙酮、0.04 mol/L pH 值=7.0 的磷酸缓冲液、 α -醋酸萘酯、10 μ mol/L 毒扁豆碱、1% 固蓝 B 盐、5% 十二烷基磺酸钠、0.1 mol/L pH 值=7.5 的磷酸缓冲液(含 1.0×10^{-3} mol/L EDTA)、4 mmol/L PNOD(对硝基苯甲醚)、4 mmol/L NADPH(还原型辅酶 II)。

1.2 研究方法

1.2.1 接种处理及样品收集

课题组前期研究发现单宁酸是抗虫苜蓿品种主要次生物质之一,测定后选择浓度为 1 mg/L、3 mg/L、5 mg/L 作为试验所需浓度。植物介导装置参考 Ye 等的方法^[23],将所用不同浓度单宁酸添加于 1.5 mL 的棕色离心管中,防止单宁酸见光分解;后将蚕豆切苗置于离心管中,然后将试管转移到覆盖着纱布的透明塑料杯中,挑取 5 d 龄若蚜至蚕豆苗上,每 24 h 收集一次蚜虫测酶活性,以清水为对照。各处理设 3 个重复,每个重复分别接 30 头豌豆蚜,分别处理 0、24、48、72 h(0 h 为对照),每个样品取样 10 头。挑取的豌豆蚜经液氮处理 10 min 后,保存在 -80°C 冰箱用于后续酶活性的测定。

1.2.2 不同浓度单宁酸对两种色型豌豆蚜 SOD、POD 酶活性的分析

酶液提取、SOD、POD 活性测定参考袁伟宁^[24]。

1.2.3 不同单宁酸浓度对两种色型豌豆蚜 CarE、CYP450 酶活性的分析

(1) CarE 活性测定 CarE 的酶活性测定参考王常清^[25]方法,并加以改进。其中,酶原液制备方法如下:将装有豌豆蚜样品的离心管从 -80°C 冰箱中取出,加入 1 mL 66 mmol/L(pH 值=7.0)的 PBS 缓冲液,用高通量组织研磨器将样品充分研磨,在 4°C 、10 000 r/min 条件下离心 10 min,吸取上清液用于后续的测定。

(2) CYP450 酶活性测定 CYP450 酶活性参照王康^[26]方法,并加以改进。酶原液制备方法改进如下:将样品从 -80°C 冰箱中取出后加入 500 μ L 0.1 mol/L(pH 值=7.5)的磷酸缓冲液(含 1.0×10^{-3} mol/L EDTA),在冰上进行充分研磨后在加入 500 μ L 缓冲液,在预冷过的离心机(4°C , 15 000 r/min),离心 10 min 后吸取上清液置于新的离心管中。

1.3 数据处理

本章数据使用 Excel 2019 进行处理,数据统计采用 SPSS 26.0 软件进行分析,差异显著性用单因素方差(One-way ANOVA)进行分析,对数据进行正态和齐性检验,多重比较采用 Duncan's 新复极差法分析,作图使用 Origin2022,显著性检验水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同单宁酸浓度对豌豆蚜 SOD 和 POD 两种酶活性的影响

2.1.1 不同单宁酸浓度对豌豆蚜 SOD 酶活性的影响 豌豆蚜取食不同浓度单宁酸后,体内 SOD 酶活性变化如图 1 所示。

图 1-A 表示红色型豌豆蚜取食人工饲料后 SOD 酶活性的变化。结果表明,不同时间处理下的 SOD 酶活性均在单宁酸浓度为 1 mg/L 时达到最大,但各处理间差异不显著($P > 0.05$)。

图 1-B 表示绿色型豌豆蚜取食单宁酸后 SOD 酶活性的变化。结果表明,24 h 时,酶活性在 5 mg/L 时最高,在 3 mg/L 时活性最低,二者间差异显著($P < 0.05$)。72 h 处理的单宁酸浓度为 3 mg/L 时酶活性达到最大值,5 mg/L 时酶活性达到最小值,二者间差异显著($P < 0.05$)。

2.1.2 不同单宁酸浓度对豌豆蚜 POD 酶活性的影响 红绿色型豌豆蚜 POD 酶活性随取食单宁酸浓度和时间的不同,其活性检测结果见图 2。

由图 2-A 可知,24 h 时,红色型豌豆蚜 POD 活性在取食单宁酸浓度为 1 mg/L 时 POD 酶活性达到最大值,和其它处理间差异显著($P < 0.05$);48 h 和 72 h 处理的酶活性在 1 mg/L 时达到最大值,和对照间差异显著($P < 0.05$)。

由图 2-B 可知,24 h 时,绿色型豌豆蚜 POD 酶活性在 5 mg/L 时达到最高,与对照差异显著($P < 0.05$);48 h 处理的 POD 酶活性在单宁酸浓度为 3 mg/L 时达到最大值,5 mg/L 时酶活性为最小值,两者之间差异显著($P < 0.05$);72 h 内,单宁酸浓度为 3 mg/L 时 POD 酶活性达到最大,1 mg/L 时酶活性最小,二者间差异显著($P < 0.05$)。

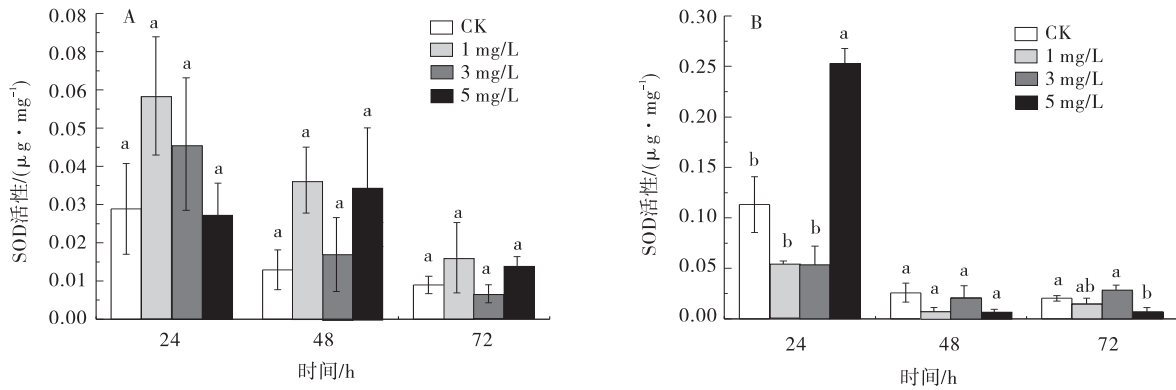


图1 不同浓度单宁酸处理蚜虫体内SOD活性变化

Fig. 1 Changes of SOD activity in aphids treated with different concentrations of tannic acid

注:小写字母表示同一材料不同组间显著性差异($P < 0.05$);A图为红色型豌豆蚜,B图为绿色型豌豆蚜,下同。

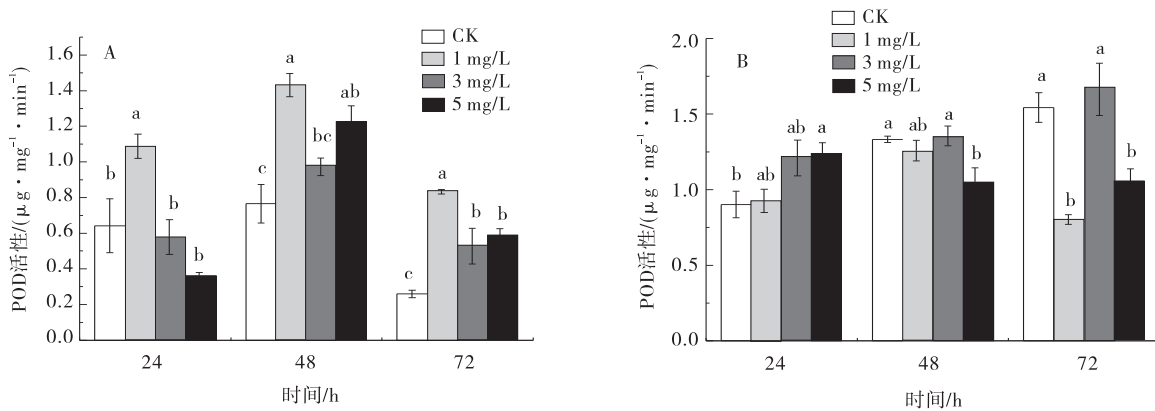


图2 不同浓度单宁酸处理蚜虫体内POD活性变化

Fig. 2 Changes of POD activity in aphids treated with different concentrations of tannic acid

2.2 不同浓度单宁酸对豌豆蚜 CarE 和 P450s 酶活性的影响

2.2.1 不同单宁酸浓度对豌豆蚜 CarE 酶活性的影响 图3-A表示红色型豌豆蚜取食不同浓度单宁酸后 CarE 酶活性的变化。24 h时,3 mg/L处理的 CarE 酶活性最大,5 mg/L处理的酶活性最小,二者间差异显著($P < 0.05$);72 h时,处理浓度3 mg/L时酶活性达到最小值,达 $(0.029 \pm 0.001) \mu\text{mol}/(\mu\text{g} \cdot \text{min})$,和对照间差异显著($P < 0.05$)。

图3-B表示绿色型豌豆蚜取食不同浓度单宁酸后,CarE酶活性的变化。24 h时,绿色型豌豆蚜 CarE 酶活性在处理浓度为3 mg/L时达到最大值,处理浓度为1 mg/L时达到最小值,两者之间差异显著($P < 0.05$)。72 h时,处理浓度为1 mg/L时酶活性达到最大,3 mg/L时达到最小,两者之间差异显著($P < 0.05$)。

2.2.2 不同单宁酸浓度对豌豆蚜 CYP450 酶活性的影响 不同浓度单宁酸处理豌豆蚜后其体内CYP450

酶活性测定结果见图4。

图4-A表示红色型豌豆蚜取食不同浓度单宁酸后,随着时间的增加CYP450酶活性的变化。24 h时,CYP450酶活性在处理浓度为3 mg/L时达到最大值,和对照间差异显著($P < 0.05$);72 h时,酶活性在单宁酸浓度为3 mg/L时达到最大值,在1 mg/L时达到最小值,两者之间存在显著差异($P < 0.05$)。

图4-B表示绿色型豌豆蚜体内CYP450酶活的变化。24 h时,CYP450酶活在5 mg/L处理时达到最大值,3 mg/L时为最小值,二者间差异显著($P < 0.05$);48 h时,酶活性在3 mg/L时达到最大值,与其余各处理间差异显著($P < 0.05$);72 h时,酶活性在3 mg/L时达到最大值,与对照间差异显著($P < 0.05$)。

3 讨论

昆虫与植物间的互作关系是生态学研究的重要方向之一^[27]。植物为了抵御病虫害的入侵体内会产生多种植物次代谢物质,包括单宁酸在内的次生代谢

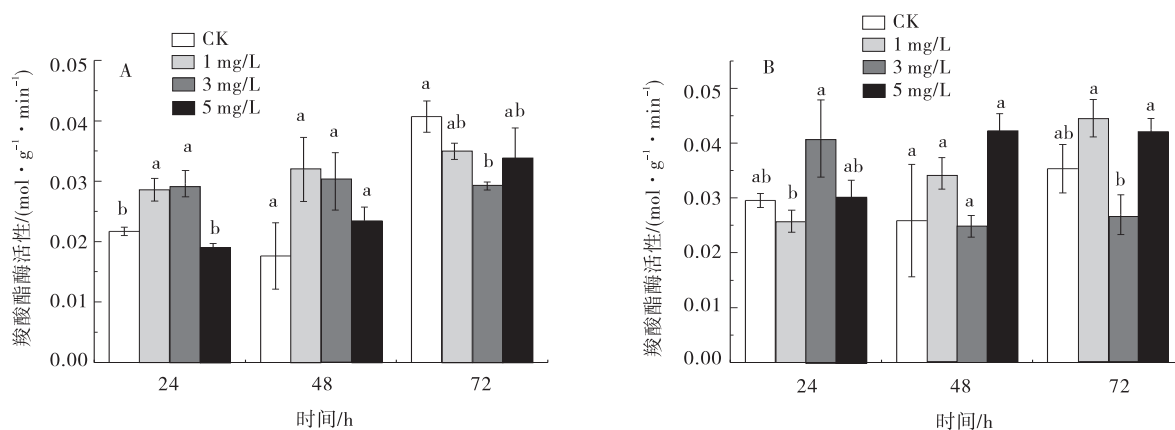


图 3 不同浓度单宁酸处理蚜虫体内 CarE 活性变化

Fig. 3 Changes of CarE activity in aphids treated with different concentrations of tannic acid

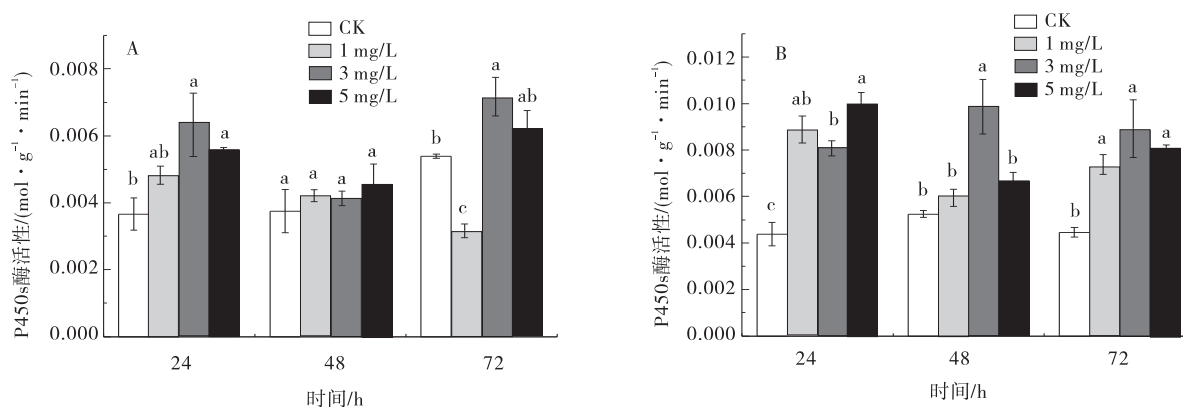


图 4 不同浓度单宁酸处理蚜虫体内 P450s 活性变化

Fig. 4 Changes of P450s activity in aphid treated with different concentrations of tannic acid

物质会影响昆虫的多种生理和行为特征。保护酶和解毒酶是昆虫适应植物防御的主要适应方式之一。范能用 3 种植物次生代谢物质饲喂甜菜夜蛾幼虫, 测量不同时间内谷胱甘肽 S 转移酶 (GST), CarE 和 CYP450 酶活性的变化, 研究发现不同植物次生代谢物质对 3 种酶的酶活性均有不同程度的影响, 并对幼虫的生长发育产生影响^[28]。韩永强测定了取食施硅水稻的褐飞虱体内保护酶和解毒酶活性, 结果表明不同酶活性在不同时间内均有变化, 从而保护其不受侵害^[29]。此外, 当取食的植物种类不同时, 昆虫体内解毒酶活性也发生不同程度的改变, 如 Wang 等发现取食蔬菜和玉米的甜菜夜蛾幼虫体内的 CarE 活性高于寄主植物为黄豆的甜菜夜蛾幼虫^[30]。大量研究表明, 蚜虫在取食植物次生代谢物质时, 体内相关的酶活性会发生变化。通过了解昆虫取食次生代谢物质后体内的解毒代谢过程, 可以为更好地开发植物源农药, 利用植物次生代谢物质防治豌豆蚜提供参考。

本研究利用植物次生物质与昆虫的互作, 通过植

物介导法将单宁酸导入豌豆蚜体内, 测定其对豌豆蚜体内部分保护酶及部分解毒酶的影响。24 h 内绿色型豌豆蚜 SOD、POD、CarE 和 CYP450 酶活性达到最大时的单宁酸浓度分别为 5 mg/L、5 mg/L、3 mg/L 和 5 mg/L, 红色型豌豆蚜 24 h 内 SOD、POD、CarE 和 CYP450 酶活性达到最大时的单宁酸浓度分别为 1 mg/L、1 mg/L、3 mg/L 和 3 mg/L; 豌豆蚜取食不同浓度单宁酸后, 体内 4 种酶的反应程度不同。红色型豌豆蚜 POD 与 CarE 酶活性在 24 h 和 72 h 内存在显著差异, CYP450 酶活性在 72 h 时最大值与最小值差异显著; 绿色型豌豆蚜 SOD 与 CarE 酶活性最大值与最小值在 24 h 和 72 h 间存在显著差异, POD 酶活性在 48 h 与 72 h 时, 最大值与最小值间均存在显著差异, CYP450 酶活性在 24 h 与 48 h 时, 最大值与最小值之间均存在显著差异。两种色型豌豆蚜被单宁酸诱导后体内酶活的变化有所不同, 这可能与两者体内的生理特性有关。本研究为防治两种不同色型豌豆蚜提供了理论基础。

4 结论

本研究采用不同浓度单宁酸饲喂豌豆蚜,测定了不同时间内红色和绿色豌豆蚜体内酶活的变化,结果表明:红绿色型豌豆蚜取食不同浓度单宁酸后,体内SOD、POD、CarE和CYP450酶活性变化不同;相同处理时间下,同种酶的活性在红绿色型豌豆蚜内的升高或降低程度不同;同种型豌豆蚜取食不同浓度单宁酸后,体内不同酶的活性变化不同。本研究结果对进一步探索豌豆蚜与寄主植物间的相互作用关系,具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 韩秀楠,王小强,赵林平,等. 不同寄主植物对豌豆蚜生长发育和繁殖的影响[J]. 植物保护,2012,38(1):41-43.
- [2] 马亚玲,李春杰. 不同大豆品种上红绿两种色型豌豆蚜的种群参数[J]. 昆虫学报,2020,63(1):46-53.
- [3] 唐平华,陈国平,朱明库,等. 蚜虫防治技术研究进展[J]. 植物保护,2013,39(2):5-12.
- [4] 李晓维,程江辉,韩海斌,等. 植物次生代谢物质对蓟马的行为调控作用及其在蓟马防控中的应用[J]. 昆虫学报,2022,65(9):1222-1246.
- [5] Balasundram N, Sundram K, Samman S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses [J]. Food Chemistry,2006,99(1):191-203.
- [6] Murakami S, Nakata R, Aboshi T, et al. Insect-induced daidzein, formononetin and their conjugates in soybean leaves[J]. Metabolites,2014,4(3):532-546.
- [7] Cervato G, Carabelli M, Gervasio S, et al. Antioxidant properties of oregano (*origanum vulgare*) leaf extracts [J]. Journal of Food Biochemistry, 2010, 24 (6) : 453-465.
- [8] Rattan R S. Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin[J]. Crop Protection, 2010, 29 (9):913-92
- [9] Macauley B J, Fox L R. Variation in total phenols and condensed tannins in Eucalyptus: leaf phenology and insect grazing[J]. Austral Ecology,2010,5(1):31-35.
- [10] 刘伟,薛超彬,张静静,等. 单宁酸对甜菜夜蛾幼虫生长发育及酚氧化酶活性的抑制作用[J]. 植物资源与环境学报,2010,19(1):32-37.
- [11] 王子彤,越慧芳,王晓丽,等. 外源茉莉酸诱导的青杨生化抗性及其对舞毒蛾幼虫食物利用的影响[J]. 昆虫学报,2015,58(6):673-679.
- [12] 吴芳,师尚礼,康文娟,等. 蓟马取食诱导对紫花苜蓿次生代谢物含量及防御酶活性的影响[J]. 草原与草坪,2022,42(6):21-27.
- [13] 刘华伟. 栗树单宁的抗氧化能力及其对肉兔生产性能的影响研究[D]. 北京:北京畜牧兽医研究所研究生院,2010.
- [14] 徐正浩,崔绍荣,何勇,等. 植物次生代谢物质和害虫防治[J]. 植物保护,2004,30(4):8-11.
- [15] 黄占华,方桂珍. 植物单宁的应用及研究进展[J]. 林产化工通讯,2005,39(5):39-43.
- [16] 吴青君,张友军,徐宝云,等. 保护酶系在小菜蛾对阿维菌素抗性中的作用[J]. 应用昆虫学报,2011,48(2):291-295.
- [17] 武海斌,宫庆涛,陈珍珍,等. 昆虫病原线虫和噻虫嗪混用对韭蛆的杀虫效果及其体内保护酶和解毒酶活性的影响[J]. 昆虫学报,2018,61(7):851-859.
- [18] Després L, David J P, Gallet C. The evolutionary ecology of insect resistance to plant chemicals. [J]. Trends in Ecology & Evolution,2007,22(6):298-307.
- [19] Schuler D M A. Differential Expression and evolution of the *Arabidopsis* CYP86A subfamily [J]. Plant Physiology,2005,137(3):1067.
- [20] 朱香镇,雒珺瑜,张帅,等. 植物源次生物质棉酚和芸香苷对绿盲蝽保护酶与解毒酶活性的影响[J]. 植物保护学报,2018,45(5):1044-1053.
- [21] 陈德霞,刘旭,罗林华,等. 典型草原4种优势种牧草次生代谢物对亚洲小车蝗解毒酶活性的影响[J]. 草业学报,2020,29(1):183-192.
- [22] 黄训兵,李辉,涂雄兵,等. 四种植物源化合物对亚洲小车蝗存活率、解毒酶和保护酶活性的影响[J]. 植物保护学报,2021,48(1):158-164.
- [23] Ye C, Jiang Y D, An X, et al. Effects of RNAi-based silencing of chitin synthase gene on moulting and fecundity in pea aphids (*Acyrtosiphon pisum*) [J]. Scientific Reports,2019,9(1):3694.
- [24] 袁伟宁. 紫外胁迫对豌豆蚜影响的研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2016.
- [25] 王常清. 高温胁迫对二斑叶螨生物学特性、解毒酶及耐药性的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2021.
- [26] 王康. 细胞色素P450和羧酸酯酶在禾谷缢管蚜抗药性中的作用[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019.

- [27] 万年峰,范能能,蒋杰贤. 寄主植物对植食性昆虫与昆虫杆状病毒互作的调控[J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(4): 788—799.
- [28] 范能能,王金彦,万年峰. 植物次生代谢物对甜菜夜蛾生长发育及解毒酶的影响[J]. 应用昆虫学报, 2022, 59(1): 165—171.
- [29] 韩永强,李丹丹,邓权权,等. 取食施硅水稻对褐飞虱成虫体内保护酶和解毒酶活性的影响[J]. 昆虫学报, 2022, 65(11): 1469—1476.
- [30] Wang J Y, Fan N N, Siemann E, *et al.* Plant-mediated effects on life history traits of entomovirus infected caterpillars of *Spodoptera exigua*[J]. Journal of Applied Entomology, 2021, 145(6): 567—574.

Effects of tannic acid on the enzymatic activity of red and green pea aphids (*Acyrtosiphon pisum*)

LIANG Yao, WU Yi-ting, MA Rui, WEI Jiang-wen, YAO Lu, LIU Lei, SONG li-wen, WANG Sen-shan

(College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Biocontrol Engineering Laboratory of Crop Diseases and Pests of Gansu Province, Lanzhou, Gansu Province 730070, China)

Abstract: 【Objective】 In order to determine the effects of tannic acid on the enzymatic activity of red and green *Acyrtosiphon pisum*. 【Method】 In this study, different concentrations of tannic acid (1 mg/L, 3 mg/L and 5 mg/L) were fed with two color types of 5 d-aged pea aphid. SOD, POD, CarE and P450s enzyme activities in pea aphid were measured following different treatment times. 【Result】 The four enzymes responded differently to the different concentrations of tannic acid. With 24 h treatment, the maximum enzyme activities of CarE enzyme and P450 were $0.029 \pm 0.002 \mu\text{mol}/(\mu\text{g} \cdot \text{min})$ and $0.006 \pm 0.0009 \mu\text{mol}/(\mu\text{g} \cdot \text{min})$, respectively, which were significantly different ($P < 0.05$), when tannic acid concentration was 3 mg/L. The enzyme activities of SOD and POD of green *A. pisum* were the highest and reached $0.028 \pm 0.004 \mu\text{g}/\text{mg}$ and $1.679 \pm 0.172 \mu\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{min})$, respectively, when tannic acid concentration was 3 mg/L at 72 h. These were significantly different from tannic acid concentration of 5 mg/L treatment ($P < 0.05$). 【Conclusion】 The different concentrations of tannic acid affected the activities of SOD, POD, CarE and P450 in red and green *A. pisum*. With the same treatment time, the activity of the same enzyme increased or decreased to different degrees in the red and green type *A. pisum*. The activities of different enzymes in different concentrations of tannic acid were different in the same type of *A. pisum*.

Key words: pea aphids; SOD; POD; CarE; CYP450s

(责任编辑 康宇坤)