

谢文, 邝军锐, 刘利, 等. 不同嗜食寄主对西花蓟马胰蛋白酶基因 *CL4520. Contig1* 表达量的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(7): 69–73. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.012

# 不同嗜食寄主对西花蓟马胰蛋白酶基因 *CL4520. Contig1* 表达量的影响

谢文<sup>1</sup>, 邝军锐<sup>1,2</sup>, 刘利<sup>1,2</sup>, 吕莎莎<sup>1</sup>, 周治成<sup>1</sup>

(1. 贵州大学农学院, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州大学昆虫研究所, 贵州贵阳 550025)

**摘要:**为明确西花蓟马取食不同嗜食寄主对其体内胰蛋白酶基因 *CL4520. Contig1* 表达量的影响, 研究了西花蓟马从菜豆莢分别转换到较嗜食寄主菜豆植株和非嗜食寄主蚕豆植株上继代饲养 1、2、3 代后, 其 2 龄若虫和成虫体内 *CL4520. Contig1* 表达量的异同。结果表明, 转换到菜豆植株上继代饲养的 1、2、3 代西花蓟马 2 龄若虫体内 *CL4520. Contig1* 表达量分别比对照降低了 61.86%、13.16%、19.10%, 在成虫体内降低了 57.07%、88.03%、12.41%; 转换到蚕豆植株上继代饲养的 1、2、3 代西花蓟马 2 龄若虫体内 *CL4520. Contig1* 表达量分别是对照的 2.33 倍、6.06 倍、4.10 倍, 成虫则是对照的 3.93 倍、6.44 倍、5.55 倍。由此得出, 当转换寄主后, 西花蓟马体内胰蛋白酶基因 *CL4520. Contig1* 会迅速产生响应, 其表达量发生明显变化, *CL4520. Contig1* 的表达量在取食嗜食寄主菜豆植株时受到一定的抑制, 而在取食非嗜食寄主蚕豆植株时明显被激活, 且 *CL4520. Contig1* 的表达量在西花蓟马不同龄期存在差异。

**关键词:**西花蓟马; 不同嗜食寄主; 胰蛋白酶; 基因表达量

**中图分类号:** S433.89; Q786 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)07-0069-05

寄主植物和昆虫在长期的进化过程中相互影响、相互适应或协同进化, 当寄主植株被昆虫取食时会产生多种防御物质<sup>[1]</sup>, 而植食性昆虫面对寄主的防御机制, 也会在进化过程中形成相应的反防御机制, 其中昆虫体内的消化酶就起到了重要作用<sup>[2]</sup>。昆虫利用其体内消化酶降解植物淀粉和蛋白质等, 达到消化和吸收营养物质的目的; 同时, 昆虫体内消化酶活性的高低反映了昆虫对营养物质消化吸收的能力和生长发育的速率<sup>[3-5]</sup>。胰蛋白酶 (trypsin, TRY) 是昆虫中肠中重要的蛋白水解酶, 可以有力迅速地激活其他蛋白酶原, 进而行使消化功能<sup>[6]</sup>。此外, 胰蛋白酶还具有阻止前体细胞抗体毁灭的功能<sup>[7]</sup>。

西花蓟马 [*Frankliniella occidentalis* (Pergande)] 属缨翅目 (Thysanoptera) 蓟马科 (Thripidae)。21 世纪初, 西花蓟马在我国北京首次被报道<sup>[8]</sup>, 之后迅

速传播扩散, 近年来相继在吉林<sup>[9]</sup>、新疆<sup>[10]</sup>、宁夏<sup>[11]</sup>和内蒙古中西部<sup>[12]</sup>等地被发现。西花蓟马主要通过锉吸式口器危害寄主植物的叶、花和果实<sup>[13]</sup>, 也可传播番茄斑萎病毒 (tomato spotted wilt virus, TSWV) 等多种植物病毒, 加重对植物的危害<sup>[14-15]</sup>, 是世界危险性害虫。

西花蓟马是典型的多食性害虫, 可危害不同种类植物, 主要危害花卉、蔬菜和果树等, 寄主达 60 多个科 500 多种植物, 可在不同寄主植物间迁移扩散危害<sup>[16]</sup>。但西花蓟马在不同寄主植株上的发育历期、产卵量和着虫率等有明显差异<sup>[17-19]</sup>。由于不同寄主植株所含营养物质的质和量不同<sup>[20]</sup>, 昆虫取食诱导产生的防御物质也不同, 因此导致昆虫在不同寄主上适应性不同。Kotkar 等的研究表明, 昆虫取食不同寄主植株后消化酶活性都会不同<sup>[21-22]</sup>, 说明不同寄主是影响昆虫体内消化酶活性的重要因子。牟峰的研究表明, 取食不同处理菜豆植株后, 西花蓟马体内消化酶活性发生显著变化<sup>[23]</sup>; 姜丽娜等研究发现, 取食不同寄主植株的西花蓟马体内消化酶活性变化不一致<sup>[6]</sup>; 在蒲恒许等的研究中, 西花蓟马取食不同诱导处理的番茄植株后, 其体内消化酶活性显著高于取食健康的番茄植株<sup>[24]</sup>, 但这些研究中并未报道不同嗜食寄主对西花蓟马

收稿日期: 2019-04-15

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 31660516); 贵州大学大学生创新基金 [编号: 贵大(国)创字 2018(024)]。

作者简介: 谢文 (1998—), 男, 湖南邵阳人, 硕士研究生, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: 694226217@qq.com。

通信作者: 邝军锐, 博士, 教授, 主要从事害虫综合治理。E-mail: zhijunrui@126.com。

消化酶基因表达量的影响。

为研究不同嗜食寄主对西花蓟马消化酶基因表达量的影响,以及西花蓟马取食不同寄主后的逐代适应过程,本试验在前人明确菜豆植株为西花蓟马较嗜食寄主和蚕豆植株为非嗜食寄主的基础上<sup>[18,25]</sup>,研究了取食菜豆豆荚的西花蓟马分别转换到较嗜食寄主菜豆植株和非嗜食寄主蚕豆植株上继代饲养 1、2、3 代后,其 2 龄若虫和成虫体内胰蛋白酶基因 *CL4520. Contig1* 的表达量,以期揭示西花蓟马对不同嗜食寄主植物的适应性的异同,为明确西花蓟马与寄主之间的互作机制奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 供试虫源 西花蓟马采自贵州省贵阳市花溪周边蔬菜地,鉴定后在人工气候箱[RXZ 型,购自宁波江南仪器厂,温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,相对湿度为 $(70 \pm 5)\%$ ,光—暗周期为 14 h—10 h]以菜豆豆荚长期继代饲养达 20 代以上。

1.1.2 供试寄主 菜豆品种选自河北省辛集市盛农种子公司的金束鹿泰国地豆王,于人工气候室(条件同人工气候箱)内培养菜豆植株,每营养钵(直径 10 cm,高 9 cm)培育 2 株清洁苗,待菜豆长至 15 cm 左右、3~4 张真叶时,取长势一致的菜豆植株作为供试寄主植物,生长期间不施用任何农药。

蚕豆品种选自康乐县进忠农产品实业开发有限责任公司的临蚕五号,于人工气候室内培养蚕豆植株(条件同上),每营养钵(直径 10 cm,高 9 cm)培育 4 株清洁苗,待蚕豆长至 15 cm 左右、8~10 张叶时,取长势一致的蚕豆植株作为供试寄主植物。生长期间不施用任何农药。

### 1.2 试验方法

1.2.1 菜豆和蚕豆植株上  $F_1$  代西花蓟马的饲养及 2 龄若虫和成虫的取样 选取健康、长势一致的菜豆、蚕豆植株各 60 钵,每个养虫笼中放置 12 钵寄主植株,取人工气候箱内菜豆豆荚上饲养的已交配 3 d 的西花蓟马雌成虫分别接到菜豆植株和蚕豆植株上,每钵植株约 100 头雌成虫,24 h 后,剔除所接所有成虫,每天观察叶片上孵化出的若虫情况,待西花蓟马若虫达 2 龄阶段,每个养虫笼中挑取 200 头若虫为 1 个样,放入 1.5 mL 离心管中,贴上标签,立即用液氮冷冻于  $-80^\circ\text{C}$  下冰箱中保存,以备提取总 RNA 时取用。同时保留一定若虫继续在植株上饲

养,至成虫阶段后取成虫 150 头放入 1.5 mL 离心管中,贴上标签,立即用液氮冷冻于  $-80^\circ\text{C}$  下冰箱中保存,以备提取总 RNA 时取用。在饲养过程中,如有萎蔫植株,及时补加新鲜长势相同的植株。试验设置 5 个养虫笼,每个养虫笼的西花蓟马为 1 个重复。

1.2.2 菜豆和蚕豆植株上  $F_2$  代西花蓟马的饲养及 2 龄若虫和成虫的取样 在“1.2.1”节中成虫取样 2~3 d 后,另取已交配的  $F_1$  代雌成虫 100 头,依照“1.2.1”节中相同的方法转移到新的养虫笼健康的同种植株上,待分别发育到 2 龄若虫和成虫后,对 2 龄若虫和成虫取样,贴上标签后,立即用液氮冷冻置于  $-80^\circ\text{C}$  下冰箱中保存。试验设置 5 个养虫笼,每个养虫笼的西花蓟马为 1 个重复。

1.2.3 菜豆和蚕豆植株上  $F_3$  代西花蓟马的饲养及 2 龄若虫和成虫的取样 在“1.2.2”节的中成虫取样 2~3 d 后,另取已交配的  $F_2$  代雌成虫 100 头,依照“1.2.1”节中相同的方法转移到新的养虫笼健康的同种植株上,待分别发育到 2 龄若虫和成虫后,对 2 龄若虫和成虫取样,贴上标签后,立即用液氮冷冻置于  $-80^\circ\text{C}$  下冰箱中保存。试验设置 5 个养虫笼,每个养虫笼的西花蓟马为 1 个重复。

试验以菜豆豆荚上长期继代饲养的西花蓟马 2 龄若虫及雌成虫为对照。

1.2.4 西花蓟马成虫和 2 龄若虫总 RNA 的提取 参照 SV Total RNA 分离纯化试剂盒(Promega)说明书步骤进行西花蓟马成虫和 2 龄若虫总 RNA 的提取,取吸光度比  $D_{260\text{ nm}}/D_{280\text{ nm}}$  处于 1.9~2.1 之间及  $D_{260\text{ nm}}/D_{230\text{ nm}}$  为 2.1 左右的 RNA 备用。

1.2.5 反转录 根据 RevertAid First Strant cDNA Synthesis Kit 反转录试剂盒(Thermo)的操作方法进行反转录。

1.2.6 引物设计 引物序列 *CL4520. Contig1\_All - F*:CGGTTGTGGAATGGCTAA;*CL4520. Contig1\_All - R*:ACTAGAACGGACGGACTC。引物由生工生物工程(上海)股份有限公司合成。

1.2.7 实时荧光定量(realtime qPCR)分析 以西花蓟马 *EF-1* 基因作为内参基因<sup>[26]</sup>。本试验借助 Mx3000PTM 荧光定量 PCR 仪和 MxPro 软件,以 FastStart Essential DNA Green Master(Roche 公司)为荧光染料,根据 qPCR 结果得到的  $C_T$  值采用  $2^{-\Delta\Delta C_T}$  法进行基因相对表达量的计算。

### 1.3 数据分析

用 Excel 2016 和 SPSS 19.0 软件对试验数据进

行统计和分析,不同世代间差异性分析用 Duncan's 多重比较,2 龄若虫和成虫两虫态间、菜豆和蚕豆植株间的差异均采用独立样本  $t$  检验。

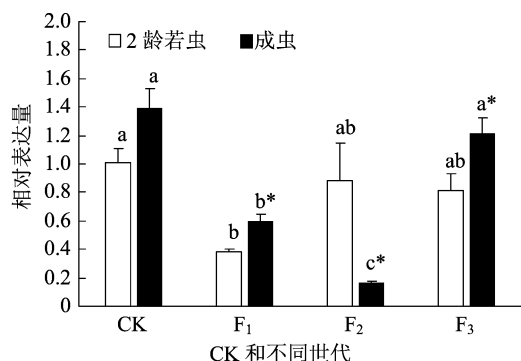
## 2 结果与分析

### 2.1 取食菜豆植株对西花蓟马不同世代胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 表达量的影响

由图 1 可知,西花蓟马从菜豆豆荚转换到菜豆植株后,西花蓟马 2 龄若虫体内胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 的表达量在  $F_1$  代显著下降;到  $F_2$  代后,表达量有所上升,与对照和  $F_1$  代差异均不显著;到  $F_3$  代 *CLA520. Contig1* 的表达量与  $F_2$  代大致相当。西花蓟马 2 龄若虫体内胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 的表达量在  $F_1$  代、 $F_2$  代和  $F_3$  代依次比对照降低 61.86%、13.16% 和 19.10%。

成虫体内胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 的表达量在  $F_1$  代也显著下降;到了  $F_2$  代下降更为明显,达到最低水平,比对照降低了 88.03%;到  $F_3$  代后,西花蓟马成虫体内 *CLA520. Contig1* 的表达量上升到了对照水平。

西花蓟马取食菜豆植株  $F_2$  代时,2 龄若虫体内 *CLA520. Contig1* 的表达量显著高于成虫;取食菜豆植株  $F_1$  代和  $F_3$  代时,均是成虫体内 *CLA520. Contig1* 的表达量显著高于 2 龄若虫。



CK 为西花蓟马取食菜豆豆荚 *CLA520. Contig1* 表达量。柱上小写字母不同表示同一虫态不同世代间 *CLA520. Contig1* 表达量差异显著 (Duncan's 多重比较法,  $P < 0.05$ ); \*表示同一世代 2 龄若虫与成虫间 *CLA520. Contig1* 表达量差异显著 ( $t$  检验,  $P < 0.05$ )。图 2 同

图1 西花蓟马取食菜豆植株时体内胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 表达量

### 2.2 取食蚕豆植株对西花蓟马不同世代胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 表达量的影响

由图 2 可知,西花蓟马从菜豆豆荚转换到蚕豆植株后,2 龄若虫体内 *CLA520. Contig1* 的表达量在  $F_1$  代有所上升但和对照差异不显著;到  $F_2$  代后,表

达量显著上升,达到最高水平,为对照的 6.06 倍;到  $F_3$  代 *CLA520. Contig1* 的表达量虽比  $F_2$  代显著下降,但仍显著高于  $F_1$  代和对照。

成虫体内 *CLA520. Contig1* 的表达量转移到蚕豆植株后均显著升高,在  $F_1$  代和  $F_2$  代分别为对照的 3.93 倍和 6.44 倍,且在  $F_2$  代达到最高水平, $F_3$  代 *CLA520. Contig1* 的表达量虽略有下降,但与  $F_2$  代差异不显著。

西花蓟马取食蚕豆植株  $F_2$  代时,2 龄若虫和成虫体内 *CLA520. Contig1* 的表达量差异不显著,而取食蚕豆植株  $F_1$  代和  $F_3$  代时,均是成虫体内 *CLA520. Contig1* 的表达量显著高于 2 龄若虫。

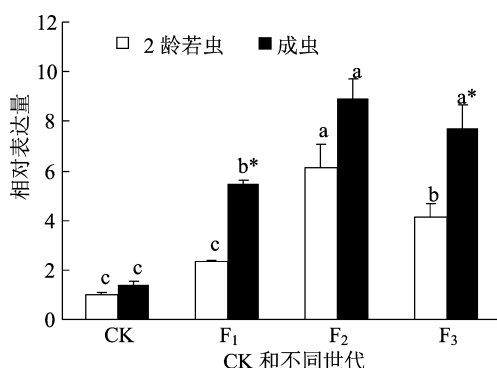


图2 西花蓟马取食蚕豆植株时体内胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 表达量

### 2.3 取食不同寄主对西花蓟马体内胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 表达量的影响

由表 1 可知,取食不同嗜食寄主植株西花蓟马相同世代和同一虫态下体内胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 表达量不同,均是取食蚕豆植株的 *CLA520. Contig1* 表达量显著高于取食菜豆植株的。西花蓟马 2 龄若虫体内胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 表达量在取食蚕豆植株的  $F_1$  代、 $F_2$  代、 $F_3$  代分别是取食菜豆植株的  $F_1$  代、 $F_2$  代、 $F_3$  代的 6.10 倍、6.98、5.07 倍,成虫体内的表达量也是在取食蚕豆植株时高,分别是取食菜豆的 9.16、53.82、6.34 倍。

## 3 讨论

昆虫体内的消化酶与取食的食物密切相关,其酶活性的高低是判断昆虫对不同寄主适合度的重要指标<sup>[27]</sup>。通常情况下,基因表达量上升会导致其编码的蛋白质表达量升高,进而会使其相应酶活性增强<sup>[28-29]</sup>。本研究发现同一世代和相同虫态下取食非嗜食寄主蚕豆植株的西花蓟马体内胰蛋白酶基

表 1 取食不同寄主的西花蓟马体内胰蛋白酶基因  
*CLA520. Contig1* 表达量

虫态	世代	表达量	
		菜豆植株	蚕豆植株
2 龄若虫	F <sub>1</sub>	0.385 5 ± 0.016 9	2.350 5 ± 0.034 8 *
	F <sub>2</sub>	0.877 7 ± 0.271 7	6.122 1 ± 0.931 7 *
	F <sub>3</sub>	0.817 7 ± 0.117 6	4.143 5 ± 0.550 6 *
成虫	F <sub>1</sub>	0.595 6 ± 0.049 4	5.458 0 ± 0.160 3 *
	F <sub>2</sub>	0.166 0 ± 0.014 9	8.934 2 ± 0.758 0 *
	F <sub>3</sub>	1.215 1 ± 0.112 8	7.701 6 ± 0.969 2 *

注:表中数值为平均值 ± 标准误,“\*”表示西花蓟马同一世代同一虫态取食不同寄主之间胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 表达量差异显著(*t* 检验, *P* < 0.05)。

因 *CLA520. Contig1* 表达量显著高于取食较嗜食寄主菜豆植株的。可能是因为西花蓟马取食非嗜食寄主蚕豆时,为了更好地分解吸收寄主植物营养物质而增加胰蛋白酶基因的表达量,从而增加体内胰蛋白酶的量。此研究结果和 Leo 等研究结果一致,当斜纹夜蛾取食不适宜寄主时,通过蛋白半胱氨酸消化酶的过表达来适应植物<sup>[30]</sup>。但也有研究表明,昆虫取食不同寄主植物时,其消化酶活性与对寄主的嗜食度基本呈正相关,与本研究结果正好相反。如张娜等研究发现,甜菜夜蛾 5 龄幼虫取食 3 种不同适合度寄主植物后,其体内淀粉酶和脂肪酶活性随嗜食度的降低而依次降低<sup>[31]</sup>。王倩倩等的研究表明,取食藜、大豆和向日葵 3 种喜食寄主的草地螟幼虫中肠消化酶较取食其他 2 种非喜食寄主植物的中肠消化酶活性更强<sup>[32]</sup>。阎雄飞等研究发现,取食适宜寄主复叶槭和漳河柳的光肩星天牛成虫消化道的淀粉酶、果胶酶和胃蛋白酶活性显著高于取食抗性寄主新疆杨和白蜡的这 3 种消化酶的活性<sup>[33]</sup>。还有研究表明,胰蛋白酶基因表达量与寄主嗜食度无关。如孙洋等研究测定了绿盲蝽取食 8 种不同嗜食度寄主后体内一种胰蛋白酶基因的表达量,体内 *ALSP4* 基因表达量在嗜食寄主和非嗜食寄主上无规律可言,与寄主的嗜食度无关<sup>[34-36]</sup>。可能是因为不同学者研究的消化酶基因不同,其参与的分子调节机制也不同,也有可能是因为昆虫种类不同,其适应不同寄主的机制也不同,具体原因还需进一步研究。

本研究结果表明,当转换寄主后,F<sub>1</sub> 代西花蓟马 2 龄若虫和成虫体内胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 表达量会发生较大变化,除取食菜豆植株的

F<sub>2</sub> 代 2 龄若虫外,其余均在 F<sub>2</sub> 代达到最高水平或最低水平,到 F<sub>3</sub> 代时,取食菜豆植株的西花蓟马表达量恢复到对照水平,取食蚕豆植株的表达量仍然显著高于对照。可能是转换到较嗜食寄主后,西花蓟马通过调控自身酶基因表达量,在 F<sub>3</sub> 代就适应了寄主,而转换到非嗜食寄主后,适应过程较长,在 F<sub>3</sub> 代并不能很好地适应寄主,因此继续通过提高酶基因表达量达到适应寄主的目的。

本研究结果表明,西花蓟马取食同种寄主植株的情况下,除了取食菜豆植株的 F<sub>2</sub> 代西花蓟马 2 龄若虫体内胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 表达量比成虫高,其余的成虫表达量均比同一世代 2 龄若虫高,说明不同虫态对寄主的适应能力不同。邓军锐等研究发现,西花蓟马 2 龄若虫和成虫取食健康和二斑叶螨危害后的菜豆植株后体内保护酶和解毒酶活性的变化和虫态、酶的种类及寄主有关,也说明了在适应寄主过程中酶变化的复杂性<sup>[37]</sup>。

本研究揭示了西花蓟马体内胰蛋白酶基因 *CLA520. Contig1* 对菜豆和蚕豆 2 种不同嗜好寄主的适应过程。至于西花蓟马取食其他不同寄主之后体内胰蛋白酶基因和其他消化酶基因表达量如何改变,不同消化酶基因如何协调,如何适应对不同类别寄主,还须进一步研究。

参考文献:

[1] 陈明顺, 仵均祥, 张国辉. 植物诱导性直接防御[J]. 昆虫知识, 2009, 46(2): 175-186.

[2] 彭 露, 严 盈, 刘万学, 等. 植食性昆虫对植物的反防御机制[J]. 昆虫学报, 2010, 53(5): 572-580.

[3] 王 琳. 昆虫淀粉酶蛋白质类抑制剂研究进展[J]. 广东农业科学, 2006, 46(8): 110-113.

[4] 严 盈, 刘万学, 万方浩. 唾液成分在刺吸式昆虫与植物关系中的作用[J]. 昆虫学报, 2008, 51(5): 537-544.

[5] 周 隆, 文礼章, 张友军. 不同寄主植物对烟粉虱消化酶和氨基酸代谢酶活性的影响[C]// 华中昆虫研究(第七卷). 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 38-44.

[6] 姜丽娜, 钱 蕾, 喜 超, 等. CO<sub>2</sub> 浓度升高对不同寄主植物上西花蓟马和花蓟马成虫体内消化酶活性的影响[J]. 昆虫学报, 2017, 60(3): 237-246.

[7] Ashman R F. Enzymatic modification of lymphocyte receptors for antigen. Ⅲ. Resistance of receptors to trypsin at the peak of the immune response[J]. European Journal of Immunology, 1976, 5(6): 421-425.

[8] 张友军, 吴青君, 徐宝云, 等. 危险性外来入侵生物——西花蓟马在北京发生危害[J]. 植物保护, 2003, 29(4): 58-59.

[9] 刘若思, 刘 燕, 王 军, 等. 重要外来入侵害虫西花蓟马在吉林省部分地区的首次发现[J]. 北京农学院学报, 2015, 30(2):

- 24–27.
- [10] 杨 华, 何 伟, 崔元珂, 等. 西花蓟马在新疆设施蔬菜种植区的发生与分布[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(1): 38–42.
- [11] 张治科, 张 烨, 吴圣勇. 西花蓟马在宁夏的发生及防控措施[J]. 植物检疫, 2016, 30(4): 75–77.
- [12] 高振江, 张冬梅, 高 娃, 等. 害虫西花蓟马在内蒙古中西部地区的发生与分布[J]. 北方农业学报, 2017, 45(2): 82–85.
- [13] Kirk W J, Terry L I. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) [J]. Agric Forest Entomol, 2003, 5(4): 301–310.
- [14] Whitfield A E, Ullman D E, German T L. Tospovirus – thrips interactions[J]. Annual Review of Phytopathology, 2005, 43: 459–489.
- [15] Adkins S. Tomato spotted wilt virus—Positive steps towards negative success [J]. Molecular Plant Pathology, 2000, 1(3): 151–157.
- [16] Manners A G, Dembowski B R, Madaline A H. Biological control of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae), in gerberas, chrysanthemums and roses [J]. Australian Journal of Entomology, 2013, 52(3): 134–137.
- [17] 李景柱, 邹军锐, 郑珊珊. 西花蓟马对不同豆科蔬菜寄主的选择性[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(9): 103–105.
- [18] 裴昌莹, 郑长英. 西花蓟马对不同蔬菜寄主的选择性研究[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 383–387.
- [19] 曹 宇, 刘 燕, 熊正利, 等. 西花蓟马对不同花卉寄主的产卵选择性[J]. 植物保护学报, 2015, 42(5): 741–748.
- [20] 王倩倩, 李克斌, 尹 姣, 等. 不同寄主植物对昆虫生长发育的影响[C]//创新驱动与现代植保——中国植物保护学会第十一次全国会员代表大会暨 2013 年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2013.
- [21] Kotkar H M, Sarate P J, Tamhane V A, et al. Responses of midgut amylases of *Helicoverpa armigera* to feeding on various host plants [J]. Journal of Insect Physiology, 2009, 55(8): 663–670.
- [22] 徐 伟, 张吉辉, 毕嘉瑞, 等. 寄主植物对双斑萤叶甲中肠消化酶和解毒酶活性的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(5): 23–28.
- [23] 牟 峰. 不同处理菜豆植株对西花蓟马生长发育和酶活性的影响[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015.
- [24] 蒲恒洪, 邹军锐, 曾 广, 等. 不同诱导处理对番茄植株保护酶及西花蓟马体内消化酶活性的影响[J]. 植物保护学报, 2018, 45(4): 915–916.
- [25] 袁成明, 邹军锐, 曹 宇, 等. 西花蓟马对蔬菜寄主的选择性[J]. 生态学报, 2011, 31(6): 1720–1726.
- [26] Zheng Y T, Li H B, Lu M X, et al. Evaluation and validation of reference genes for qRT – PCR normalization in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. PLoS one, 2014, 9(10): e111369.
- [27] 贾 冰, 谭 瑶, 付晓彤, 等. 不同寄主植物对牧草盲蝽生长发育、繁殖及消化酶活性的影响[J]. 草业科学, 2018, 301(8): 162–171.
- [28] Pan Y O, Guo H L, Gao X W. Carboxylesterase activity, cDNA sequence, and gene expression in malathion susceptible and resistant strains of the cotton aphid, *Aphis gossypii* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology B – Biochemistry & Molecular Biology, 2009, 152(3): 266–270.
- [29] Zhou X J, Sheng C F, Li M, et al. Expression responses of nine cytochrome P450 genes to xenobiotics in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2010, 97(3): 209–213.
- [30] Leo F D, Bonadé – Bottino M A. Opposite effects on spodoptera littoralis larvae of high expression level of a trypsin proteinase inhibitor in transgenic plants[J]. Plant Physiology, 1998, 118(3): 997–1004.
- [31] 张 娜, 郭建英, 万方浩, 等. 寄主植物对甜菜夜蛾生长发育和消化酶活性的影响[J]. 植物保护学报, 2009, 36(2): 146–150.
- [32] 王倩倩, 王 蕾, 李克斌, 等. 不同寄主植物对草地螟的营养作用及消化酶的影响[J]. 植物保护, 2015, 41(4): 46–51.
- [33] 阎雄飞, 刘 娟, 刘永华. 不同寄主对光肩星天牛成虫消化酶的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(18): 4010–4013.
- [34] 徐文华, 王瑞明, 林付根, 等. 棉盲蝽的寄主种类、转移规律、生态分布与寄主的适合度[J]. 江西农业学报, 2007, 19(12): 45–50, 56.
- [35] 魏书艳, 肖留斌, 谭永安, 等. 不同寄主受绿盲蝽危害后生理代谢指标的变化[J]. 植物保护学报, 2010, 37(4): 359–364.
- [36] 孙 洋, 柏立新, 张永军, 等. 绿盲蝽丝氨酸蛋白酶基因 *ALSP4* 的克隆及取食不同寄主植物后的表达谱分析[J]. 昆虫学报, 2012, 55(6): 641–650.
- [37] 邹军锐, 田 甜, 温 娟, 等. 西花蓟马或二斑叶螨为害的菜豆对两者间后取食者体内保护酶和解毒酶活性的影响[J]. 昆虫学报, 2016, 59(7): 707–715.