

取食蚜害后的棉花对棉蚜营养代谢的影响*

王小丽** 吴 娜 张玉栋 韩 睿 张全成 王俊刚***

(石河子大学农学院, 新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用重点实验室, 石河子 832003)

摘 要 【目的】为明确棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 取食受蚜虫为害的棉花后, 其体内营养代谢的变化。【方法】采用生化分析法, 研究取食棉长管蚜 *Acyrtosiphon gossypii* Mordviiko 持续为害以及棉长管蚜和棉蚜交互为害的棉花对棉蚜体内淀粉酶、海藻糖酶、蔗糖酶、脂肪酶和胃蛋白酶活性的影响。【结果】与取食健康棉花相比, 取食经棉长管蚜为害 72 h 的棉花后, 棉蚜体内的淀粉酶、海藻糖酶和胃蛋白酶活性分别降低 13.0%、13.7%和 2.9%, 蔗糖酶和脂肪酶活性分别上升 13.6%、11.1%。与取食棉长管蚜为害 72 h 的棉花相比, 取食经棉长管蚜-棉蚜-棉长管蚜交互为害 72 h 的棉花, 棉蚜体内淀粉酶、海藻糖酶、胃蛋白酶、蔗糖酶和脂肪酶活性分别下降 10.0%、3.5%、0.5%、3.5%和 6.5%。棉花在相同的蚜虫为害时间以及为害次序下, 对后期取食的棉蚜消化酶活性的影响也各不相同。与经棉长管蚜、棉蚜和棉长管蚜分别交互为害 72、24 和 24 h 处理的棉花相比, 取食经棉长管蚜、棉蚜和棉长管蚜分别交互为害 24、72 和 24 h 处理的棉花棉蚜体内淀粉酶活性下降 23.5%、海藻糖酶活性下降 7.3%, 蔗糖酶和脂肪酶活性分别上升 14.4%和 8.0%。而与经棉长管蚜、棉蚜和棉长管蚜分别交互为害 24、24 和 72 h 处理的棉花相比, 取食经棉长管蚜、棉蚜和棉长管蚜分别交互为害 24、72 和 24 h 处理的棉花棉蚜体内胃蛋白酶活性上升 43.1%。【结论】棉长管蚜为害棉花可导致后期取食的棉蚜体内淀粉酶、海藻糖酶以及胃蛋白酶活性受到抑制, 而棉蚜则会通过蔗糖酶和脂肪酶活性的升高来弥补因淀粉酶、海藻糖酶及胃蛋白酶活性受到抑制而导致的营养物质吸收不足。相同的虫害处理时间以及处理次序下, 由于棉蚜的加入使得虫害棉花对后取食的棉蚜体内消化酶活性的影响更加显著。

关键词 棉长管蚜; 棉蚜; 营养代谢; 交互取食

Effects of aphid damage to cotton plants on the nutritional metabolism of *Aphis gossypii*

WANG Xiao-Li** WU Na ZHANG Yu-Dong HAN Rui
ZHANG Quan-Cheng WANG Jun-Gang***

(College of Agriculture, Key Laboratory of Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resources Utilization,
Xinjiang Uygur Autonomous Region, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract 【Objectives】To clarify changes in the nutritional metabolism of *Aphis gossypii* after feeding on cotton plants stressed by aphid damage. 【Methods】Biochemical methods was used to study the effects of continuous damage by *Acyrtosiphon gossypii*, and the interaction between *Acyrtosiphon gossypii* and the *Aphis gossypii*, on the amylase, trehalase, invertase, lipase and pepsin levels of *Aphis gossypii* that subsequently fed on the same plants. 【Results】The amylase, trehalase and pepsin activity of *Aphis gossypii* that had fed on cotton damaged by *Acyrtosiphon gossypii* for 72 h decreased by 13.0%, 13.7% and 2.9%, respectively, and their sucrase and lipase activity increased by 13.6% and 11.1%, respectively, compared to the activity of these enzyme in aphids that had fed on healthy cotton. Amylase, trehalase, pepsin, sucrase and lipase activity decreased by 10.0%, 3.5%, 0.5%, 3.5% and 6.5%, respectively, when *Aphis gossypii* had fed on cotton that had been first been fed on by *Acyrtosiphon gossypii*, then by *Aphis gossypii*, then again by *Acyrtosiphon gossypii*, for 72 h. The

*资助项目 Supported projects: 地区科学基金项目 (31660519; 31260435)

**第一作者 First author, E-mail: 1436647660@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: wangjungang98@163.com

收稿日期 Received: 2021-07-28; 接受日期 Accepted: 2022-02-03

effects of the same duration of aphid damage, and the same sequential order of aphid species, on the digestive enzyme activity of *Aphis gossypii* differed when these fed at a later stage. The amylase and trehalase activity of aphids that fed on plants treated with $Ac_{y24}A_{72}Ac_{y24}$ was 23.5% and 7.3% lower, respectively, than those that had fed on cotton plants treated with $Ac_{y72}A_{24}Ac_{y24}$, whereas invertase and lipase activity increased by 14.4% and 8%, respectively. However, the pepsin activity of *Aphis gossypii* fed on cotton plants treated with $Ac_{y24}A_{72}Ac_{y24}$ was 43.1% higher than that of those that had fed on plants treated with $Ac_{y24}A_{24}Ac_{y72}$. **[Conclusion]** Amylase, trehalase and pepsin activity in *Aphis gossypii* were inhibited by the previous feeding activity of *Acyrtosiphon gossypii* on cotton plants, and sucrase and lipase activity increased to compensate for the reduced absorption of nutrients caused by the inhibition of amylase, trehalase and pepsin. The same treatment time and order of species had a more significant effect on the digestive enzyme activity of *Aphis gossypii*.

Key words *Acyrtosiphon gossypii*; *Aphis gossypii*; nutrition metabolism; interactive feeding

棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 和棉长管蚜 *Acyrtosiphon gossypii* Mordviiko 属同翅目蚜科, 是新疆棉区重要的刺吸类害虫 (张强等, 2020)。其主要以若蚜和成蚜吸食植物汁液, 造成植物叶片卷缩, 幼苗萎蔫, 叶片畸形生长, 甚至枯死, 其取食过程中分泌蜜露会诱发霉菌产生, 影响植物正常光合作用, 使得棉花产量和品质严重下降 (姚永生, 2017; 陆宴辉等, 2020; 张玉栋, 2020)。目前, 在大量的研究更多关注于温湿度、天敌、寄主及化学调控等对两种蚜虫的影响 (冯丽凯等, 2015; 高桂珍和吕昭智, 2015; 潘洪生等, 2018; 吴娜等, 2020)。而有关植物诱导抗性对棉花蚜虫生理代谢影响的研究报道较少, 因而, 本文设置棉长管蚜持续取食诱导棉花和棉长管蚜和棉蚜交互取食诱导棉花 2 种处理, 探究取食蚜虫为害后的棉蚜营养代谢的变化, 以期明确棉蚜与诱导抗性棉花植株的作用关系, 并分析植物诱导抗性对棉蚜生理代谢的影响, 为利用植物诱导抗性防御害虫为害提供理论依据, 并为害虫的防治提供新的思路和方法。

消化酶系是昆虫体内的重要酶系, 其在维持昆虫正常的生理代谢、生长发育及存活等方面具有重要作用, 因此常被用来作为衡量昆虫生理适应能力的指标之一 (柴艳萍等, 2016)。昆虫取食后, 蛋白酶抑制剂可与肠道内的蛋白水解酶特异性结合, 通过对消化酶活性的抑制, 阻断或削弱蛋白酶水解食物中的蛋白, 或激发消化酶的过量合成与分泌, 引起某些氨基酸的缺乏, 扰乱昆虫正常的生理代谢, 最终导致昆虫生长发育异常, 甚至死亡 (Schuler *et al.*, 1998; Jalali *et al.*,

2015)。冯春富 (2011) 研究发现, 经昆虫取食处理的舞毒蛾 *Lymantria dispar* 幼虫蛋白酶活性受到抑制。而蛋白酶和淀粉酶活性的显著降低直接影响昆虫对食物中淀粉、纤维素及蛋白质等的消化和吸收, 进一步抑制了昆虫对食物的摄取及维持其生理功能和营养物质的吸收, 进而影响昆虫的正常生长发育。骆颖等 (2012) 研究发现苦瓜叶乙酸乙酯萃取物对斜纹夜蛾 *Prodenia litura* Fabricius 幼虫生长发育及存活的影响可能与其抑制了幼虫中肠内的淀粉酶和蛋白酶有关。于彩虹等 (2011) 研究结果表明, 2 种苷类化合物 (七叶灵和皂角苷) 显著抑制了棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner 中肠海藻糖酶活性。肖留斌等 (2013) 发现绿盲蝽 *Lygocoris lucorum* Meyer-Dur. 若虫的发育历期与成虫的海藻糖酶活性显著负相关, 海藻糖酶活性越低, 昆虫在寄主上所需的发育历期越长。海藻糖酶不仅为昆虫生长发育提供能量, 而且能在逆境条件下大量合成, 在昆虫的能量代谢、生殖腺和生殖细胞发育等方面起重要作用 (Ge *et al.*, 2011; 肖留斌等, 2013; 於卫东等, 2020)。海藻糖酶活性的改变严重影响海藻糖水解为葡萄糖的途径, 使昆虫能量代谢受阻, 导致昆虫因能量供应不足而死亡 (巩涛等, 2016)。

昆虫取食被虫害诱导的植物后, 可通过调节消化酶活性进行反防御。目前, 关于棉蚜对蚜害棉花的适应性尚未见报道。因此, 本试验通过探究棉长管蚜为害棉花以及棉长管蚜和棉蚜交互为害棉花对后期取食的棉蚜消化酶活性的影响, 分析棉蚜、棉长管蚜和棉花之间的互作关系, 为

探讨利用植物诱导抗性抵御害虫提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试棉花

供试棉花品种为新陆早 44 号, 置于温度为 $(26 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 湿度为 $70\% \pm 5\%$, 光周期为 16L : 8D 的恒温培养箱培养。选取生长状况相近且带有 2 片展开真叶的棉花备用。

1.2 供试昆虫

棉长管蚜和棉蚜均采自石河子大学试验场, 在实验室内继代饲养。

1.3 试剂及仪器

乙醇 (天津市致远化学试剂有限公司); 淀粉酶、海藻糖酶、蔗糖酶、脂肪酶及胃蛋白酶活性检测试剂盒均为南京建成生物工程研究所产品。紫外可见分光光度计 (UV-1800 日本岛津, 日本岛津公司); 电热恒温水浴锅 (北京长安科学仪器厂); 玻璃匀浆器 (上海垒固仪器有限公司); 高速冷冻离心机 (上海安亭科学仪器厂); 制冰机 (LQP-B-4 型, 上海安亭科学仪器厂)。

1.4 试验方法

试验设计如表 1 所示, 对照组 (CK): 选取体型大小一致、取食健康棉花 24 h 的棉蚜成蚜 30 头, 待测。试验组: 棉蚜和棉长管蚜诱导危害棉花的次序和时间见表 1, 危害结束后并分别接体型大小一致棉蚜成蚜 30 头取食棉花 24 h 待测, 以上各处理均重复 3 次。

用毛笔分别挑取待测样 30 头成蚜于试管中, 加入适量的生理盐水进行研磨, 在 $3\,000\text{ r/min}$ 离心 10 min , 取上清备用。淀粉酶、海藻糖酶、蔗糖酶、脂肪酶和胃蛋白酶 OD 值测定按照南京建成生物的试剂盒要求依次测定, 每次试验重复 3 次, 根据制作的标准曲线, 将 OD 值转换成活力值。

1.5 数据处理

试验数据在 DPS 数据处理系统 v9.5 版进行

数据统计, 采用 SPSS 20.0 软件进行统计分析, 通过单因素方差分析法以及 LSD 法进行多重比较法分析多个样本之间的差异显著性, 比较酶活性是否存在显著差异 ($P < 0.05$)。

表 1 棉蚜和棉长管蚜诱导危害棉花的时间次序表
Table 1 Time sequence of induced damage to cotton by *Aphis gossypii* and *Acyrtosiphom gossypii*

处理 Treatments	第 1 次诱导 (棉长管蚜) First induction (<i>Ac. gossypii</i>) (h)	第 2 诱导 (棉蚜) Second induction (<i>Ap. gossypii</i>) (h)	第 3 次诱导 (棉长管蚜) Third induction (<i>Ac. gossypii</i>) (h)
CK	—	—	—
A1	24	—	—
A2	48	—	—
B1	24	24	24
B2	72	24	24
B3	24	72	24
B4	24	24	72

A1: 棉长管蚜为害 24 h (*Ac24*); A2: 棉长管蚜为害 72 h (*Ac72*); B1: 棉长管蚜、棉蚜和棉长管蚜分别交互为害 24、24 和 24 h (*Ac24Ap24Ac24*); B2: 棉长管蚜、棉蚜、棉长管蚜分别交互为害 72、24 和 24 h (*Ac72Ap24Ac24*); B3: 棉长管蚜、棉蚜和棉长管蚜分别交互为害 24、72 和 24 h (*Ac24Ap72Ac24*); 棉长管蚜、棉蚜和棉长管蚜分别交互为害 24、24 和 72 h (*B4: Ac24Ap24Ac72*)。下同。

A1: *A. gossypii* damage 24 h (*Ac24*); A2: *A. gossypii* damage 72 h (*Ac72*); B1: *A. gossypii*, *A. gossypii* and *A. gossypii* interacted for 24, 24 and 24 h (*Ac24Ap24Ac24*), respectively; B2: *A. gossypii*, *A. gossypii* and *A. gossypii* interacted for 72, 24 and 24 h (*Ac72Ap24Ac24*), respectively; B3: *A. gossypii*, *A. gossypii* and *A. gossypii* interacted for 24, 72 and 24 h (*Ac24Ap72Ac24*), respectively; B4: *A. gossypii*, *A. gossypii* and *A. gossypii* interacted for 24, 24 and 72 h (*Ac24Ap24Ac72*), respectively. The same below.

2 结果与分析

2.1 取食蚜害棉花对棉蚜淀粉酶活性的影响

取食棉长管蚜单独为害的棉花后, 棉蚜体内淀粉酶活性受到一定程度的抑制 (图 1)。与取食健康棉花相比, 取食棉长管蚜为害 24 h 和 72 h

的棉花, 棉蚜体内淀粉酶活性分别降低 4.3% 和 13.0%; 与取食棉长管蚜为害 24 h 的棉花相比, 取食棉长管蚜为害 72 h 棉花的棉蚜体内淀粉酶活性显著降低了 9.0% ($P<0.05$)。

棉蚜和棉长管蚜交互为害棉花与棉长管蚜单独的危害棉花其棉蚜体内的淀粉酶活性也存在着显著的差异 ($P<0.05$)。在相同的虫害处理时间 72 h 下, 增加了棉蚜的危害, 棉长管蚜、棉蚜和棉长管蚜分别交互为害 24、24 和 24 h (以下简称 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{24}$) 处理组与棉长管蚜为害 72 h (以下简称 Ac_{72}) 处理组相比, 棉蚜体内淀粉酶活性显著下降 10% ($P<0.05$)。在棉长管蚜、棉蚜和棉长管蚜分别交互为害 72、24 和 24 h (以下简称 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$)、棉长管蚜、棉蚜和棉长管蚜分别交互为害 24、72 和 24 h (以下简称 $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$)、棉长管蚜、棉蚜和棉长管蚜分别交互为害 24、24 和 72 h (以下简称 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$) 3 组处理中, 在危害次序以及危害时间相同的情况下, $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 处理组淀粉酶抑制效果最显著, 棉蚜淀粉酶活性下降 23.5%, 其次是 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$ 处理组, 棉蚜淀粉酶活性下降 17.6%。

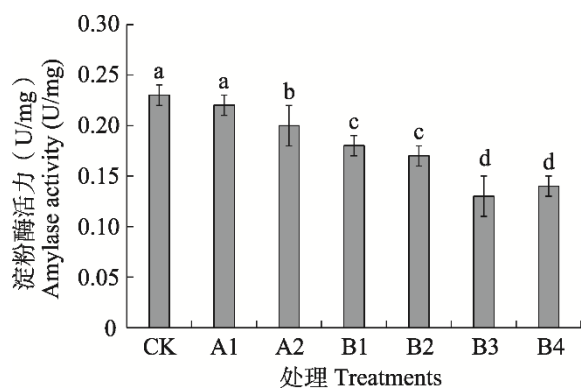


图 1 蚜害棉花对棉蚜淀粉酶活性的影响

Fig. 1 Effects of aphid infestation on amylase activity of *Aphis gossypii*

图中数据为 3 次重复的平均值, 柱上标有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, LSD 法)。A1, A2, B1, B2, B3, B4 同表 1, 下图同。

Data are arithmetic means of three replications.

Histograms with different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$,

LSD method). A1, A2, B1, B2, B3 and B4 are the same as table 1. The same below.

可见, 棉长管蚜为害棉花时间越长, 对后取食的棉蚜体内淀粉酶活性抑制作用越大。在相同的虫害时间下, 棉蚜的加入放大了虫害棉花对后取食棉蚜体内淀粉酶活性的抑制作用。而相同的虫害处理时间以及相同的取食次序下, 棉蚜较长时间取食, 对后期取食的棉蚜体内淀粉酶活性的影响起到决定性作用。

2.2 取食蚜害棉花对棉蚜海藻糖酶活性的影响

取食棉长管蚜单独为害的棉花后, 棉蚜体内海藻糖酶活性受到一定程度的抑制 (图 2)。与取食健康棉花组相比, 取食经棉长管蚜为害 24 h 和 72 h 的棉花后, 棉蚜体内海藻糖酶活性分别降低 1.7% 和 13.7%, 且取食棉长管蚜为害 72 h 的棉花与取食健康棉花和取食棉长管蚜为害 24 h 的棉花棉蚜体内海藻糖酶活性存在显著差异 ($P<0.05$)。

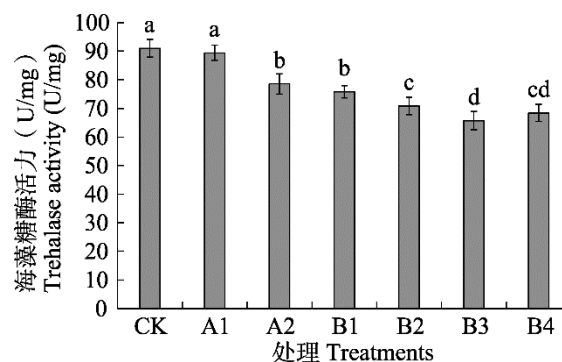


图 2 蚜害棉花对棉蚜海藻糖酶活性的影响

Fig. 2 Effects of aphid infestation on trehalase activity of *Aphis gossypii*

取食棉蚜和棉长管蚜交互为害棉花后, 棉蚜体内海藻糖酶活性也有一定的抑制作用。如图 2 所示, 在相同的虫害危害时间 72 h 下, 与 Ac_{72} 处理组相比, 取食经 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{24}$ 处理后的棉蚜体内海藻糖酶活性下降 3.5%, 且二者之间无显著差异。在 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$ 、 $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 和 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$ 3 组处理中, 与 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$ 处理组相比, $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 处理组和 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$ 处理组的棉蚜海藻糖酶活性分别下降 7.3% 和 3.5%, 存在显著差异 ($P<0.05$)。

可见, 取食蚜害棉花对后期取食棉蚜体内的海藻糖酶有抑制作用, 且随着棉长管蚜为害棉花

时间的延长,棉蚜体内海藻糖酶活性抑制作用越大;而交互取食危害相较于棉长管蚜单独为害,对后期取食的棉蚜体内海藻糖酶活性的影响作用更大。

2.3 取食蚜害棉花对棉蚜胃蛋白酶活性的影响

取食棉长管蚜单独为害的棉花后,棉蚜体内胃蛋白酶活性影响较小(图3)。与取食健康棉花组相比,取食经棉长管蚜为害24 h和72 h的棉花后,棉蚜体内胃蛋白酶活性分别降低0.3%和2.9%,且取食经棉长管蚜为害72 h的棉花与经棉长管蚜为害24 h的棉花棉蚜体内胃蛋白酶活性降低了3.3%,均不存在显著的差异。

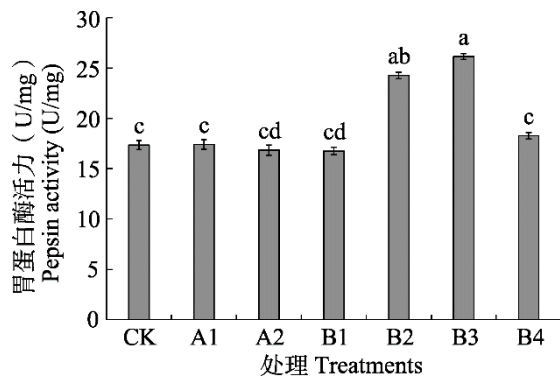


图3 蚜害棉花对棉蚜胃蛋白酶活性的影响

Fig. 3 Effects of aphid infestation on pepsin activity of *Aphis gossypii*

取食棉蚜和棉长管蚜交互为害棉花后,棉蚜体内胃蛋白酶活性影响作用较大。如图3所示,在 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$ 、 $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 和 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$ 3组处理中, $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 处理组的促进作用最显著,其次是 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$ 处理组。与 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$ 处理组相比, $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 处理组和 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$ 处理组的棉蚜胃蛋白酶活性分别上升16.5%和7.7%,存在差异显著($P<0.05$)。

可见,取食棉长管蚜单独为害的棉花对棉蚜体内的胃蛋白酶活性影响作用不大,只有在棉长管蚜和棉蚜交互为害时,棉蚜体内胃蛋白酶活性有明显的促进作用。

2.4 取食蚜害棉花对棉蚜蔗糖酶活性的影响

取食棉长管蚜单独为害的棉花后,棉蚜体内

蔗糖酶活性受到一定程度的刺激(图4)。与取食健康棉花组相比,取食经棉长管蚜为害24 h和72 h的棉花后,棉蚜体内蔗糖酶活性分别升高1.1%和13.6%,且取食经棉长管蚜为害72 h的棉花与取食健康棉花组和取食棉长管蚜为害24 h的棉花棉蚜体内蔗糖酶活性存在差异显著($P<0.05$)。

在相同的虫害处理时间72 h下,与 Ac_{72} 处理组相比,取食经 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{24}$ 处理后的棉蚜体内蔗糖酶活性活性下降3.5%,存在显著差异($P<0.05$)。在 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$ 、 $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 和 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$ 3组处理中,与 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$ 处理组相比, $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 处理组和 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$ 处理组的棉蚜蔗糖酶活性上升14.4%、7.3%,存在显著影响($P<0.05$)。

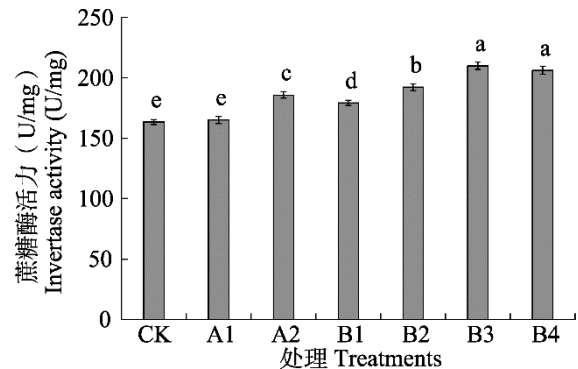


图4 蚜害棉花对棉蚜蔗糖酶活性的影响

Fig. 4 Effects of aphid infestation on invertase activity of *Aphis gossypii*

可见,棉长管蚜单独为害与棉长管蚜和棉蚜交替危害棉花对后期取食的棉蚜体内蔗糖酶活性有不同程度的促进作用,在相同的虫害时间下,棉长管蚜危害时间越长,对后期棉蚜体内蔗糖酶活性促进作用越显著,后期棉蚜的长时间危害也会显著促进棉蚜体内蔗糖酶活性。

2.5 取食蚜害棉花对棉蚜脂肪酶活性的影响

取食棉长管蚜单独为害的棉花后,棉蚜体内脂肪酶活性受到一定程度的刺激(图5)。与取食健康棉花组相比,取食经棉长管蚜为害24 h和72 h的棉花后,棉蚜体内脂肪酶活性分别上升1.2%和11.1%,且取食经棉长管蚜为害72 h

的棉花与经棉长管蚜为害 24 h 的棉花相比, 棉蚜体内脂肪酶活性上升 9.8%, 存在显著差异 ($P<0.05$)。

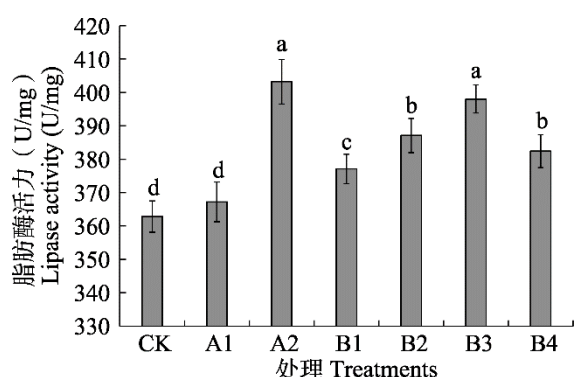


图 5 蚜害棉花对棉蚜脂肪酶活性的影响

Fig. 5 Effects of aphid infestation on lipase activity of *Aphis gossypii*

在相同的虫害处理时间 72 h 下, 与 Ac_{72} 处理组相比, 取食经 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{24}$ 处理后的棉蚜体内脂肪酶活性下降 6.5%, 存在显著差异 ($P<0.05$)。在 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$ 、 $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 和 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$ 3 组处理中, $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 的促进作用效果最显著, 与 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$ 处理组和 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$ 处理组相比, 棉蚜体内脂肪酶活性分别上升 8% 和 6.6%, 存在显著差异 ($P<0.05$)。

可见, 蚜害棉花对后期取食的棉蚜体内脂肪酶活性都有明显的促进作用, 除 Ac_{24} 处理组外, 其余处理组对棉蚜体内脂肪酶活性都存在显著的促进作用, 棉长管蚜的持续危害对后期取食的棉蚜体内脂肪酶活性的影响起到决定性作用。

3 结论与讨论

消化酶是昆虫体内的重要酶系, 主要作用为水解各类营养物质, 在维持昆虫正常生理生化代谢方面具有重要作用(邓小霞等, 2012; 崔家丽, 2017)。淀粉酶和胃蛋白酶活性的显著降低直接影响昆虫对食物中淀粉、纤维素及蛋白质等的消化和吸收, 进一步抑制了昆虫对食物的摄取及维持其生理功能和生长发育所需要的营养物质的吸收, 进而影响昆虫的正常生长发育(王承香等, 2010; 骆颖等, 2012)。海藻糖酶、蔗糖酶和脂肪酶在昆虫的能量代谢和生殖细胞发育等方面

起重要作用, 其活性的改变, 将破坏昆虫正常生理功能, 使之生理状态紊乱, 能量代谢受阻, 导致昆虫因能量供应遭到破坏而死亡(钟国华等, 2000; 闫慧敏等, 2013)。

取食棉长管蚜单独为害的棉花后, 由于诱导了蛋白酶抑制剂和酚类等次生物质的变化, 棉蚜体内淀粉酶、海藻糖酶和胃蛋白酶活性受到抑制。与取食健康棉花相比, 上述 3 种消化酶活性分别降低 13.0%、13.7% 和 2.9%, 且从本研究结果来看, 取食前期棉长管蚜为害时间越长的棉花, 棉蚜体内淀粉酶、海藻糖酶和胃蛋白酶活性抑制作用越显著。而取食经棉长管蚜单独为害 72 h 的棉花后, 棉蚜体内蔗糖酶和脂肪酶活性分别上升 13.6% 和 11.1%。相同的虫害处理时间下, 棉蚜和棉长管蚜交互取食处理组与棉长管蚜单独取食处理组相比, 取食棉长管蚜单独为害棉花的棉蚜体内淀粉酶、海藻糖酶、胃蛋白酶、蔗糖酶和脂肪酶活性分别下降 10%、3.5%、0.5%、3.5% 和 6.5%。推测可能是由于棉蚜的加入, 放大了虫害棉花对后期取食者体内消化酶的抑制作用。而在 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$ 、 $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 和 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$ 3 组处理中, 它们有着相同的取食次序以及取食时间, 但各处理组对后期棉蚜消化酶活性的影响却各不相同。 $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 与 $Ac_{72}Ap_{24}Ac_{24}$ 处理组相比, 可使后期取食者体内淀粉酶活性下降 23.5%、海藻糖酶活性下降 7.3%; 蔗糖酶和脂肪酶活性分别上升 14.4% 和 8.0%。 $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 与 $Ac_{24}Ap_{24}Ac_{72}$ 处理组相比, 可使后期取食者体内胃蛋白酶活性上升 43.1%。这与牟峰(2015)的研究结果相似, 即取食经西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 为害的菜豆植株, 可使后期取食的西花蓟马体内淀粉酶活性、海藻糖酶活性受到不同程度的抑制; 另有研究表明, B 型烟粉虱 *Bemisia Tabaci* B biotype 取食过经 B 型烟粉虱前侵染的烟草植株后, 体内蛋白酶活性显著提高(王承香等, 2010)。因此, 本研究中由于 $Ac_{24}Ap_{72}Ac_{24}$ 处理组相较于其他两组棉蚜取食的时间较长, 加重了对后期取食棉蚜消化酶活性的影响。

综上所述, 棉花在经过棉长管蚜和棉蚜危害后, 增强了棉花对棉蚜的生长发育影响, 使棉蚜

体内淀粉酶、海藻糖酶和胃蛋白酶活性严重受到抑制,植物诱导抗性对棉蚜的消化酶有较强的干扰作用。因此,田间前期棉蚜发生量较少的情况下,可以不必立即进行化学防治,这样既可以诱导棉花产生抗性,也可保护棉蚜天敌、减少化学污染及棉蚜抗性的产生。此外,昆虫在受到有毒物质危害时,其体内生理代谢的响应必定是多方面的或综合性的,不仅仅是消化酶发挥相应的调节作用,发挥相应的解毒作用,保护酶和解毒酶也会通过自身酶活性调节起到一定的保护作用。因而,植物诱导抗性对昆虫生理生化机理的影响还需进一步的探讨。

参考文献 (References)

- Cui JL, 2017. Effects of the treatment of DPC on cotton defensive action and the feeding and metabolism of *Aphis gossypii*. Master dissertation. Shihezi: Shihezi University. [崔家丽, 2017. 缩节胺处理对棉花防御作用及棉蚜取食与代谢的影响. 硕士学位论文. 石河子: 石河子大学.]
- Chai YP, Zhang JY, Wang YX, Jia D, Ma RY, Guo YQ, 2016. Effects of starvation and different plant feedings on the digestive enzyme activities in the adults of alligator weed flea beetle *Agasicles hygrophila*. *Journal of Plant Protection*, 43(5): 738–744. [柴艳萍, 张建宇, 王苑馨, 贾栋, 马瑞燕, 郭艳琼, 2016. 饥饿程度及取食不同植物对莲草直胸跳甲消化酶的影响. 植物保护学报, 43(5): 738–744.]
- Deng XX, Wang JG, Jiang HL, He ZM, Ma TW, Peng J, 2012. Study of the adaptability of the potato beetles' natural population to photoperiod. *Journal of Shihezi University (Natural Science Edition)*, 30(2): 157–161. [邓小霞, 王俊刚, 江海澜, 何泽敏, 马天文, 彭俊, 2012. 马铃薯甲虫自然种群对光周期的适应性研究. 石河子大学学报(自然科学版), 30(2): 157–161.]
- Feng LK, Gao GZ, Lv ZZ, Jia HM, Wang PL, 2015. Interspecific competition between *Aphis gossypii* Glover and *Acyrtosiphon gossypii* Mordvilko at different temperatures. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(3): 557–565. [冯丽凯, 高桂珍, 吕昭智, 贾慧敏, 王佩玲, 2015. 不同温度条件对棉蚜、棉长管蚜种间竞争关系的影响. 应用昆虫学报, 52(3): 557–565.]
- Feng CF, Yan SC, Lu YF, Hu X, 2011. Effects of induced resistance of *larix gmelinii* on the activities of detoxifying enzymes in *Lymantria dispar*. *Scientia Silvae Sinicae*, 47(8): 102–107. [冯春富, 严善春, 鲁艺芳, 胡晓, 2011. 兴安落叶松诱导抗性对舞毒蛾幼虫解毒酶活性的影响. 林业科学, 47(8): 102–107.]
- Gao GZ, Lu ZZ, 2015. Review on the crash mechanism of cotton aphid *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) mid-summer population. *Chinese Journal of Environmental Entomology*, 37(5): 1101–1108. [高桂珍, 吕昭智, 2015. 仲夏棉蚜种群崩溃机制研究进展. 环境昆虫学报, 37(5): 1101–1108.]
- Ge LQ, Zhao KF, Huang LJ, Wu JC, 2011. The effects of triazophos on the trehalose content, trehalase activity and their gene expression in the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 100(2): 172–181.
- Gong T, Li LL, Zhao ZZ, Liu DH, 2016. Advances in trehalose biosynthesis pathways and application of molecular biology technique. *Agricultural Science & Technology*, 17(8): 1790–1795. [巩涛, 李琳琳, 赵正中, 刘德海, 2016. 海藻糖合成途径及分子生物学研究进展. *Agricultural Science & Technology*, 17(8): 1790–1795.]
- Jalali M, Hosseiniaveh V, Imani S, 2015. Inhibitory activity of proteinaceous inhibitors from *Cassia angustifolia* and *Trigonella foenum-graecum* seeds against *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae): Interaction of the inhibitors and the insect digestive enzymes. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48(3): 268–276.
- Luo Y, Zhang MX, Ling B, 2012. Effects of ethyl acetate extracts of *Momordica charantia* leaves on digestive enzymes of *Spodoptera litura* (Fabricius). *Chinese Journal of Environmental Entomology*, 34(3): 289–294. [骆颖, 张茂新, 凌冰, 2012. 苦瓜叶乙酸乙酯萃取物对斜纹夜蛾消化酶活性的影响. 环境昆虫学报, 34(3): 289–294.]
- Lu YH, Liang GM, Zhang YJ, Yang XM, 2020. Advances in the management of insect pests of cotton in China since the 21st century. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(3): 477–490. [陆宴辉, 梁革梅, 张永军, 杨现明, 2020. 二十一世纪以来棉花害虫治理成就与展望. 应用昆虫学报, 57(3): 477–490.]
- Mou F, 2015. Effect of different treatments of bean plants on development and enzyme activities of *Frankliniella occidentalis* (Pergande). Master dissertation. Guizhou: Guizhou University. [牟峰, 2015. 不同处理菜豆植株对西花蓟马生长发育和酶活性的影响. 硕士学位论文. 贵州: 贵州大学.]
- Pan HS, Jiang YY, Wang PL, Liu J, Lu YH, 2018. Research progress in the status evolution and integrated control of cotton pests in Xinjiang. *Plant Protection*, 44(5): 42–50. [潘洪生, 姜玉英, 王佩玲, 刘建, 陆宴辉, 2018. 新疆棉花害虫发生演替与综合治理研究进展. 植物保护, 44(5): 42–50.]
- Schuler TH, Poppy GM, Kerry BR, Denholm I, 1998. Insect-resistant transgenic plants. *Trends in Biotechnology*, 16(4): 168–175.

- Wu N, Zhang YD, Cai XH, Shi YH, Han R, Wang JG, 2020. Studies on the activities of related enzymes of *Aphis gossypii* after feeding cotton damaged by *Acyrtosiphon gossypii*. *Journal of Xinjiang Agricultural Sciences*, 57(11): 2056–2064. [吴娜, 张玉栋, 蔡晓虎, 史亚辉, 韩睿, 王俊刚, 2020. 棉蚜取食被棉长管蚜危害棉花后其相关酶的活性. 新疆农业科学, 57(11): 2056–2064.]
- Wang CX, Xue M, Bi MJ, Li QL, Hu HY, 2010. Temporal effect of tobacco defense responses to *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) induced by *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) B biotype. *Acta Entomologica Sinica*, 53(3): 314–322. [王承香, 薛明, 毕明娟, 李庆亮, 胡海燕, 2010. B 型烟粉虱取食诱导烟草对烟蚜防御反应的时间效应. 昆虫学报, 53(3): 314–322.]
- Xiao LB, Tan YA, Sun Y, Zhao HX, Wu GQ, Bai LX, 2013. Adaptability and physiological response to host plant species switching in *Apolygus lucorum*. *Scientia Agricultura Sinica*, 46(23): 4941–4949. [肖留斌, 谭永安, 孙洋, 赵洪霞, 吴国强, 柏立新, 2013. 绿盲蝽对寄主转换的适应性及生理响应. 中国农业科学, 46(23): 4941–4949.]
- Yao YS, 2017. Interspecific pattern change of *Aphis gossypii* and *Acyrtosiphon gossypii* and its' influencing factors in Southern Xinjiang cotton-growing region. Doctoral dissertation. Beijing: China Agricultural University. [姚永生, 2017. 新疆南部棉区棉蚜与棉长管蚜种间关系的格局变化及影响因素分析. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学.]
- Yan HM, Deng XX, Wang FJ, Gao Y, Wang QL, Jiang HL, Wang JG, 2013. Effect of different *Aphid* damage levels on the physiology and biochemistry of bud stage cotton. *Journal of Xinjiang Agricultural Sciences*, 50(11): 2077–2084. [闫慧敏, 邓小霞, 汪凤娟, 高勇, 王全龙, 江海澜, 王俊刚, 2013. 不同棉蚜为害程度对花蕾期棉花生理化的影响. 新疆农业科学, 50(11): 2077–2084.]
- Yu CH, Liang XH, Lu D, Wang XJ, Jiang H, Lin RH, 2011. Trehalase activity and carbohydrate content of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in response to several botanical compounds. *Acta Entomologica Sinica*, 54(1): 41–49. [于彩虹, 梁晓贺, 卢丹, 王晓军, 姜辉, 林荣华, 2011. 几种植物源化合物对棉铃虫海藻糖酶活性及相关碳水化合物含量的影响. 昆虫学报, 54(1): 41–49.]
- Yu WD, Pan BY, Qiu LY, Huang Z, Zhou T, Ye L, Tang B, Wang SG, 2020. The structure characteristics and biological functions on regulating trehalose metabolism of two NtTret1s in *Nilaparvata lugens*. *Scientia Agricultura Sinica*, 53(23): 4802–4812. [於卫东, 潘碧莹, 邱玲玉, 黄镇, 周泰, 叶林, 唐斌, 王世贵, 2020. 两个褐飞虱海藻糖转运蛋白基因的结构及调控海藻糖代谢功能. 中国农业科学, 53(23): 4802–4812.]
- Zhang Q, Li XC, Yu L, Zhao BM, Li H, 2020. Analysis on the occurrence and cause of main cotton diseases and insect pests in Xinjiang production and construction corps in 2020. *China Cotton*, 47(12): 38–40. [张强, 李贤超, 余璐, 赵冰梅, 李红, 2020. 2020 年新疆兵团棉花主要病虫害发生情况及原因分析. 中国棉花, 47(12): 38–40.]
- Zhang YD, 2020. The cotton defense response induced by *Acyrtosiphon gossypii* and its effect on late feeding of *Aphis gossypii*. Master dissertation. Shihezi: Shihezi University. [张玉栋, 2020. 棉长管蚜诱导棉花防御反应及对后期棉蚜的影响. 硕士学位论文. 石河子: 石河子大学.]
- Zhong GH, Hu MY, Lin JT, Zhou LJ, 2000. Effect of rhodojaponin-III effects of rhodojaponin? I on trehalose reserves and activity of trehalase in the larvae of pieris rapae. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 19(2): 119–123. [钟国华, 胡美英, 林进添, 周利娟, 2000. 闹羊花素-III 对菜青虫海藻糖含量及海藻糖酶活性的影响. 华中农业大学学报, 19(2): 119–123.]