

两种叶面肥对桃蚜“绿色防控”的影响*

王欣宇¹, 韩亚静¹, 历佳月¹, 黄群义¹, 叶乐夫², 付雪^{1,2}

1. 黑龙江大学现代农业与生态环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150080

2. 东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030

摘要: 叶面肥通过差异性的肥效和对植物次生代谢的影响直接和间接作用于植株上的昆虫, 改变“植物-昆虫”互动系统的发展方向, 影响昆虫抗药性及种群发展趋势。研究通过观测自制酵素、商品木醋液和混合液对桃蚜及寄主植物(小白菜)的综合影响: 包括对桃蚜种群发展的观察, 测定桃蚜 4 种解毒酶活性, 测定寄主植物多项生长指标, 观察单独饲养桃蚜生长发育过程。结果发现: (1) 酵素施用增加全株生物量, 增加根系质量占比, 即酵素的“生物肥”作用明显。酵素还能缓解木醋液降低叶绿素含量的作用。木醋液施用降低植株叶绿素含量, 增加叶片数量。植株接虫减少叶片数, 增大叶面积, 矮化植株; (2) 酵素对蚜虫种群数量没有显著影响, 木醋液和混合液处理都显著减少桃蚜各虫态数量: 其中对有翅蚜的抑制率最高, 其次是若蚜, 对成蚜影响最小; 相比而言, 混合液对各虫态的抑制率均高于木醋液单独作用; (3) 酵素和木醋液都显著降低桃蚜产蚜量, 而混合液降低更大, 各处理桃蚜繁殖历期没有明显变化。对桃蚜的生命表参数各处理都有影响, 其中酵素有降低影响, 木醋液影响更大, 混合液影响最大; (4) 酵素和木醋液均能降低桃蚜体内某些种类抗逆酶的活性。总之, 酵素和木醋液及二者混合液都能够对植株起到生物肥作用; 混合液施用对桃蚜各虫态的抑制效果更好, 能够对桃蚜生长初期和桃蚜向有翅蚜分化起到明显的抑制作用; 酵素和木醋液降低桃蚜对化学药剂抗性, 为桃蚜抗性治理提供新思路。

关键词: 酵素; 木醋液; 桃蚜; 植株; 抗逆酶

中图分类号: S433.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137(2022)06-0060-09

Effects of two kinds of foliar fertilizer on green control of aphid pest *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphidoidea)

WANG Xinyu¹, HAN Yajing¹, LI Jiayue¹, HUANG Qunyi¹, YE Lefu², FU Xue^{1,2}

1. College of Modern Agriculture and Ecological Environment, Heilongjiang University,
Harbin 150080, China

2. College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

Abstract: Foliar fertilizers directly and indirectly act on insects living on plants through differential fertilizer effects and the effects on plant secondary metabolism, as a result, changing the development direction of the "plant-insect" interaction system, and affecting insect resistance and population development trends. The study investigated the comprehensive effects of homemade fermented bio-extract, commercial wood vinegar and mixtures on the green peach aphid and the host plant (small cabbage), including: Observing the development of the green peach aphid population, measuring the activities of four detoxification enzymes in the green peach aphid, detecting the growth index as well as observing

* 收稿日期: 2022-03-30

录用日期: 2022-04-14

网络首发日期: 2022-05-17

基金项目: 黑龙江大学研究生创新科研项目 (YJSCX2021-222HLJU); 黑龙江省省属高等学校基本科研业务费基础研究项目 (KJCX201820)

作者简介: 王欣宇 (1998年生), 女; 研究方向: 农业昆虫与害虫防治; E-mail: WXYhlju@foxmail.com

通信作者: 付雪 (1979年生), 女; 研究方向: 农业昆虫与害虫防治; E-mail: 2008003@hlju.edu.cn

the growth and development process of *Myzus persicae* fed alone. The results showed that : (1) Fermented bio-extract application increased the biomass of the whole plant and the proportion of the root system, that is, the "bio-fertilizer" effect of the fermented bio-extract was obvious; the fermented bio-extract could also alleviate the effect of wood vinegar on reducing the chlorophyll content. The application of wood vinegar reduces the chlorophyll content of plants and increases the number of leaves. Plant inoculation reduces the number of leaves, increases leaf area, and dwarfs plants. (2) Fermented bio-extract had no significant effects on the number of aphid populations, and both wood vinegar and mixed solution treatments significantly reduced the number of various states of *Myzus persicae*, among them, the inhibition rate of the winged aphid was the highest, followed by the nymph aphid, which had the least effects on the adult aphid; In contrast, the inhibition rate of the mixed solution to each insect state was higher than that of the wood vinegar solution alone. (3) Both the fermented bio-extract and the wood vinegar significantly reduced the aphid yield of *Myzus persicae*, while the mixed solution decreased more. All treatments had an effect on the life table parameters of *Myzus persicae*. Among them, the fermented bio-extract had a lowering effect, the wood vinegar had a greater effect, and the mixed solution had the greatest effect. (4) Both fermented bio-extract and wood vinegar can reduce the activity of some anti-stress enzymes in *Myzus persicae*. In a word, both fermented bio-extract and wood vinegar as well as their mixtures can act as biological fertilizers on plants; when the mixture is applied, it has a better inhibitory effect on the various states of the green peach aphid, and can inhibit the growth of the peach aphid in the early stage and the winged growth of the peach aphid. Aphid differentiation played an obvious inhibitory role; fermented bio-extract and wood vinegar reduced the resistance of green peach aphid to chemical agents. The study provided new ideas for the treatment of green peach aphid resistance.

Key words: fermented bio-extract; wood vinegar; peach aphid; plant; anti-stress enzyme

桃蚜属于半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae 瘤蚜属 *Myzus*, 它和萝卜蚜 *Lipaphis erysimi* Kaltentbach、瓜蚜 *Aphis gossypii* Glover 统称为菜蚜^[1-2]。桃蚜分布广、寄主多、繁殖快、适应能力强, 是一种重要的刺吸式口器害虫。桃蚜吸食植物汁液, 造成植株营养不良、叶片卷曲^[3]; 分泌蜜露引发霉污病^[4]; 传播植物病毒造成更大的危害^[5-6]。在生产实践中, 对蚜虫的防治可分为农业防治、物理防治、生物防治和化学防治, 其中化学防治应用较为广泛, 但大量采用化学防治不仅存在抗性^[7]问题, 还给生态系统带来严重污染, 导致一系列生态问题^[8]。寻找并使用高效低毒、对环境友好的新型生物杀虫剂已经成为当前亟待解决的问题。

酵素是以生物质为原料进行发酵的一种微生物菌剂, 木醋液是一种由生物质原料经过热解后产生气体, 经过精细加工而成的混合物^[9], 两者均具有改良土壤、促进植物生长、防治病虫害等作用^[10-11]。酵素单独作为杀虫剂使用的研究较少, 但近年来, 人们对酵素用来抑制病原菌生长和提高植物抗病性的能力进行了新的研究和评估^[12]。如王丽丽等^[13]研究发现使用大蒜、生姜和洋葱发酵

液处理朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval 后起到了明显的驱避和毒杀作用。木醋液对害虫的防治可以单独使用, 也可以与其他药品联合应用, 木醋液对思茅松毛虫 *Dendrolimus kikuchii* Matsumura、小菜蛾 *Plutella xylostella* Linnaeus、舞毒蛾 *Lymantria dispar* Linnaeus、玉米螟 *Pyrausta nubilalis* Hubern、黄粉虫 *Tenebrio molitor* Linnaeus、根结线虫 *Meloidogyne* spp. 和菜青虫 *Pieris rapae* Linnaeus 等均有一定杀灭效果^[14-15]。Kim 等^[16]通过试验发现, 使用木醋液与克百威配施时, 褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 与灰飞虱 *Laodelphax striatellus* Fallén 的死亡率显著提高, 而木醋液单独使用时效果并不明显, 结果表明木醋液和克百威的杀虫活性具有协同作用。酵素和木醋液均来源于生物, 成分复杂, 多种成分对有害生物起协同作用, 且有害生物不容易产生抗性, 同时还能提高作物的产量和质量, 对环境友好, 是具有广阔前景的生物农药。

本研究通过对桃蚜和其寄主植物(小白菜)施用酵素和木醋液两种液体生物肥复配, 观察其对植株的生长及桃蚜的生长发育和繁殖的影响, 并

了解桃蚜相关解毒酶活性的变化情况和寄主植物相关情况,为研究此液体生物肥对桃蚜影响的机理提供了试验基础,具有一定的理论基础和实际应用价值,如果能以此研究深入地开拓酵素与木醋液在植物害虫控制中的应用,推动“肥-药一体化”新模式的建立,将会对我国农业害虫的控制发展起到重要作用。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 供试植物与昆虫 实验室内盆栽单株种植小白菜 *Brassica chinensis* Linnaeus, 种子购于安徽合肥合丰公司。用小白菜作为寄主植物饲养桃蚜 *Myzus persicae* Sulzer, 使其连续繁殖多代, 避免其接触药剂产生抗药性。实验室内饲养条件为, 温度: L(28±1) °C, D(23±1) °C; 相对湿度: (75±5)%; 光照周期: L:D=14 h:10 h。

1.1.2 供试药品及仪器 自制酵素: 将新鲜洋葱、茼蒿、丑橘皮清水洗净, 沥干水分后, 将每种材料进行手工切碎及破壁机破碎处理, 分别将处理后的材料、红糖、水按照 3:1:10 的质量比放入酵素桶内, 充分混合均匀, 封闭发酵容器, 保留 20% 空间, 置于避光处密封静置。每种酵素使用 3 个容器, 发酵前 1 个月每天按时放气、搅拌, 共发酵 100 d, 使用前进行过滤处理。

杏壳木醋液 (pH=2.83) 为哈尔滨五常市润农科技有限公司产品。

超氧化物歧化酶 (SOD)、羧酸酯酶 (CarE)、过氧化氢酶 (CAT)、谷胱甘肽-S 转移酶 (GST)、考马斯亮蓝法试剂盒为南京建成生物有限公司产品。

实验仪器主要有: 智能人工气候箱、高速台式冷冻离心机、可见光分光光度计等。

1.2 试验方法

1.2.1 桃蚜种群 实验室盆栽播种小白菜, 待其长至 2 叶期时单株移栽到直径为 11 cm 的盆中。在每株小白菜叶片长至 5~6 叶期时, 转移 5 头成蚜至植株上, 待桃蚜产下若蚜后, 每棵小白菜上保留 5 头若蚜, 分别喷施 $\varphi=1\%$ 木醋液、 $\varphi=2\%$ 酵素、 $V(\varphi=1\%$ 木醋液): $V(\varphi=2\%$ 酵素)=1:1 的复配液 (清水为对照组), 每个处理重复 10 次, 间隔 7 d 喷施一次。每 3 天观察并记录若蚜、成蚜及有翅蚜的数量。同时设置无虫处理, 每个处理 10 次重复, 10 d 测量一次有虫及无虫的植株株高情况并记录。试验结束后, 将各个植株上的成蚜收集并置于 -20 °C 的冰箱中冷冻待用。处理 20 d 后, 采收植

株, 测量不同处理小白菜地上地下部分生物量。

1.2.2 桃蚜生长发育繁殖 寄主植物 (小白菜) 单株种植, 待其长至 3~4 叶期, 在单株小白菜上转移一头刚羽化的无翅雌成蚜, 以清水为对照, 分别喷施 $\varphi=1\%$ 木醋液、 $\varphi=2\%$ 酵素、 $V(\varphi=1\%$ 木醋液): $V(\varphi=2\%$ 酵素)=1:1 的复配液, 每个处理重复 30 次, 间隔 7 d 喷施一次。每日观察并记录成蚜产蚜量和寿命, 将新产若蚜转移至其他植株上作为下一代继续观察, 每日观察记录桃蚜蜕皮、存活情况, 待其羽化为成虫后记录繁殖情况及寿命, 连续观察 3 代。

1.2.3 桃蚜体内蛋白含量 种群试验结束后, 将经过 20 d 处理后的桃蚜无翅成蚜收集, 置于 -20 °C 的冰箱中冷冻, 取出后参照于慧龄^[17] 的桃蚜匀浆制备方法和李宁^[18] 的考马斯亮蓝 G-250 法, 测定桃蚜体内蛋白质含量。

1.2.4 桃蚜体内抗逆酶活性 同桃蚜蛋白测定方法制备蚜虫匀浆, 分别测定桃蚜体内的 SOD、CAT、GST、CarE 活性。具体方法参照以上 4 种试剂盒说明书。

1.3 数据处理

用 SAS9.4 软件分析处理间试验数据的显著性差异; 处理间平均值差异显著性采用 LSD 检验; 用 SPSS 统计分析软件进行双因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 寄主植物的响应

不同处理小白菜株高方差分析结果见表 1。由表 1 中可知, 生物肥类型对株高增量均无显著影响 ($P>0.05$); 接虫对前期株高增量有显著矮化影响 ($P=0.001$), 对后期株高增量显著矮化影响 ($P=0.015$), 对株高总增量有显著矮化影响 ($P=0.001$)。

各处理小白菜株高增量如图 1 所示, 可见, 在观察前期有虫无虫处理的株高增量均无显著差异 (图 1a), 后期有虫处理施用酵素、木醋液及混合液处理植株的株高增量显著低于对照组 ($P=0.0194$)。

表 1 生物肥类型与接虫处理对株高生长的影响的显著性
Table 1 Significance of effects of biological fertilizer types and inoculation treatments on plant height increase

指标	株高增量 (P 值)		
	前期	后期	总量
自变量			
肥	0.374	0.091	0.874
虫	0.001	0.015	0.000
交互作用	0.854	0.725	0.769

有虫植株经木醋液处理后株高增量显著低于对照 ($P=0.0239$) (图1b)。植株增长总量施用酵素的有虫处理显著低于无虫处理 ($P=0.0260$) (图1c)。在接虫处理中植株矮化明显: (1) 在植株生长后期,

有木醋液作用的下接虫处理植株矮化显著 ($-64%$); (2) 而就整个植株生长期而言, 则是酵素组接虫处理的植株矮化显著 ($-51%$)。

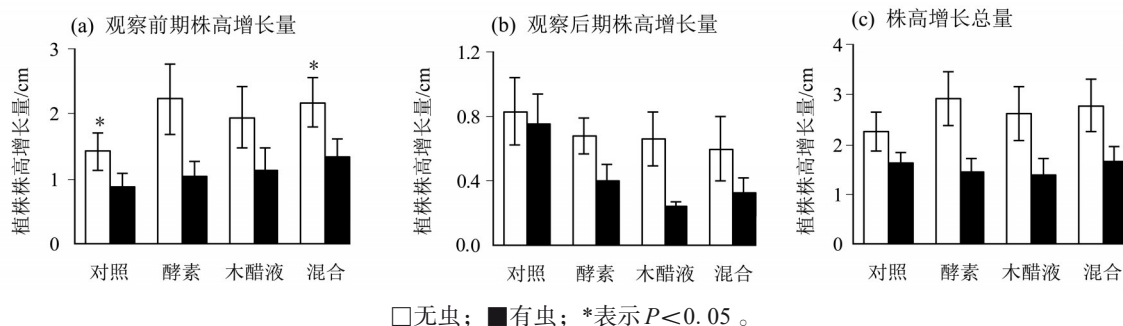


图1 不同处理小白菜株高增量 (平均值±标准误差)

Fig. 1 Plant height increase of pakchoi in different treatments (mean ± SE)

各处理小白菜生物量如图2所示。从图2中可以看出, 无虫和有虫处理施用不同液剂后全株生物量均无显著差异。施用酵素后有虫处理全株生物量显著高于无虫处理 ($P=0.0401$) (图2a)。无虫和有虫处理施用不同液剂后, 地下部分生物量占全株生物量的比例均无显著差异。施用酵素后有虫处理的地下部分生物量比例显著高于无虫处理 ($P=0.0388$) (图2b)。酵素组全株生物量的有虫处理显著高于无虫组 (60%), 地下生物量占比 (代表根系是否发达) 情况类似 (高109%)。

2.2 桃蚜种群的响应

桃蚜在经过处理后的种群动态如图3所示, 由图3a不同处理中桃蚜若蚜数量的变化可知, 在观察前期, 各处理组中若蚜数量不断增多, 在观察后期达到峰值后开始下降。木醋液处理后的植株上若蚜数量在观察前期显著低于清水处理 ($P=0.0029, P=0.0014$), 在观察后期木醋液和混合处理的植株上的若蚜数量显著低于对照和酵素处理植株上的若蚜 ($P=0.0393, P=0.0031$)。

各个处理成蚜数量在初期均处于比较低水平, 后期第7次观察时数量增长较快, 达到峰值 (图3b)。第6次观察时, 酵素处理植株上的成蚜数量显著高于取食木醋液处理和对照组植株的成蚜 ($P=0.0228$); 第7次观察时, 酵素处理植株上的成蚜数量显著高于木醋液处理和混合处理的成蚜 ($P=0.0355$)。混合液处理后的植株上有翅蚜在观察的中期稍高于其他处理, 在后期达到高峰后迅速降低 (图3c)。取食其他几个处理植株的有翅蚜在后期达到高峰。混合液处理后的植株上有翅蚜的数

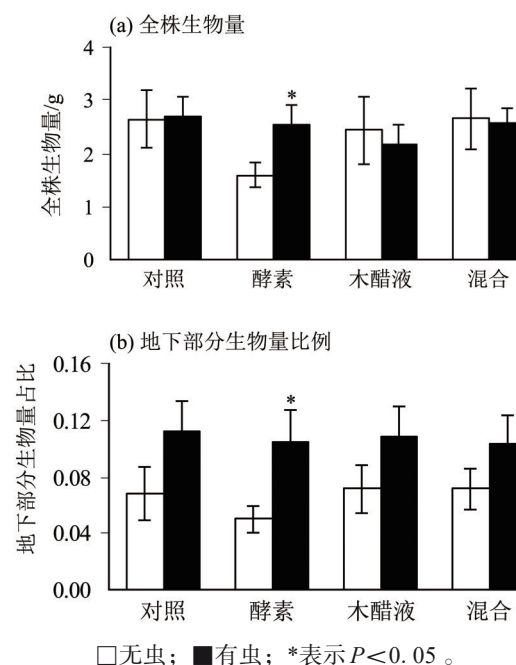


图2 不同处理小白菜生物量比较 (平均值±标准误差)

Fig. 2 Comparison of the biomass of pakchoi in different treatments (mean ± SE)

量在调查的第5次 ($P=0.0365$) 和第6次 ($P=0.0240$) 显著高于对照处理。取食木醋液和混合液处理植株的有翅蚜数量在观察的最后一次显著低于对照和酵素处理 ($P < 0.0010$)。

图3d表示不同处理桃蚜的总数, 桃蚜在取食经过木醋液处理的植株后, 在第3次观察时桃蚜总数显著低于对照组 ($P=0.0031$); 第4次观察时, 显著低于其他处理 ($P=0.0043$)。木醋液和混合处理植株上的桃蚜总量在最后2次观察时 (接近) 显著

低于其他处理 ($P=0.0051, P=0.0568$)。桃蚜种群观察结果表明:木醋液和混合液处理都显著减少桃蚜每个虫态的个体数量,即木醋液显著抑制桃蚜种群,最大抑制率出现在最后2次调查;不同虫态的个体数量比为:若蚜:成蚜:有翅蚜=40:8:5;若蚜个体数量在木醋液作用下最多降低30%,在混合液作用下降低33%;成蚜个体数量在木醋液处理中最多降低12%,在混合液作用下降低17%;有翅蚜个体数量在木醋液作用下最多降低38%,

在混合液作用下降低82%;整个蚜虫种群个体数量在木醋液作用下最多降低27%,在混合液作用下降低29%。即木醋液对不同虫态抑制率不同,对有翅蚜抑制率最高,其次是若蚜,对成蚜影响最小(各处理对若蚜、成蚜、有翅蚜个体数量的抑制率比值,木醋液为38:30:12,混合液为82:33:17。由此可以看出,混合液对各虫态抑制率均高于木醋液单独作用)。

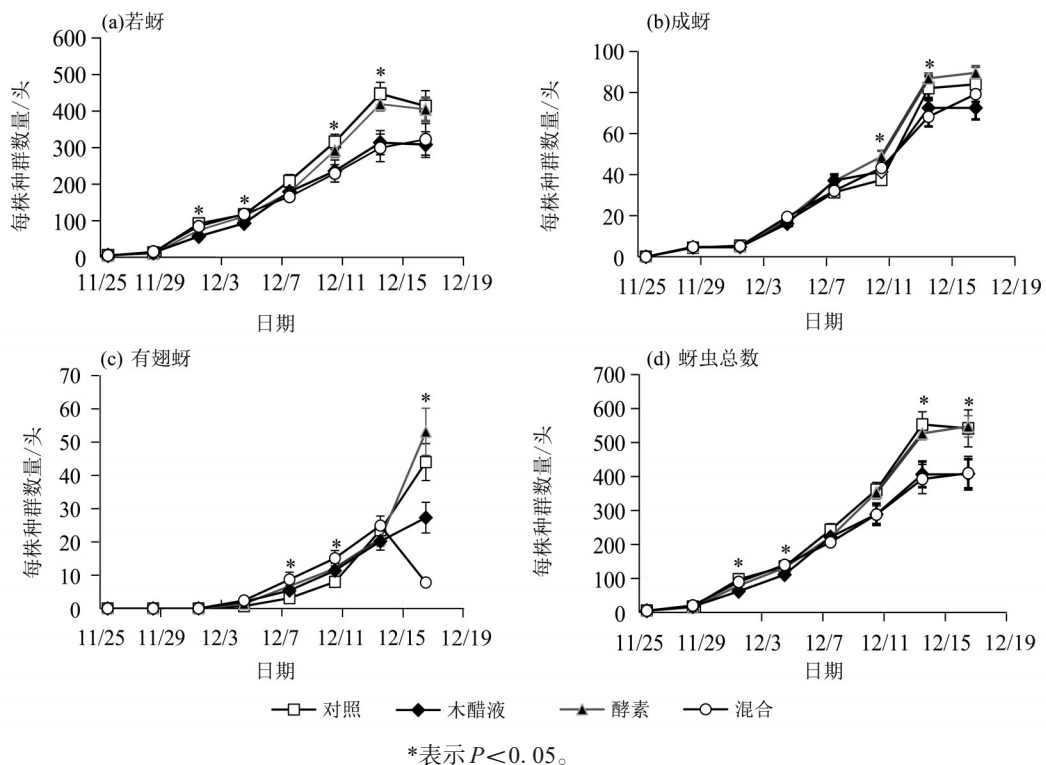


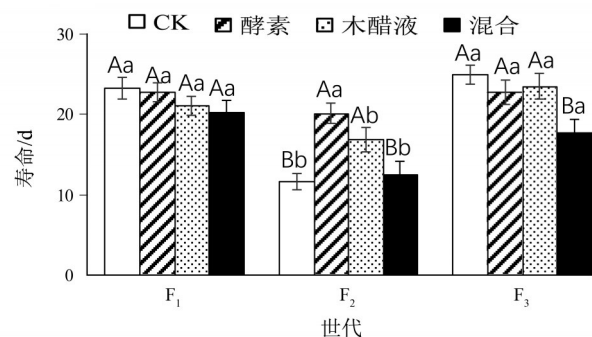
图3 不同处理桃蚜种群动态

Fig. 3 Population dynamics of *Myzus persicae* in different treatments

2.3 桃蚜繁殖力的响应

不同世代桃蚜的寿命比较如图4所示。由图4可知, F_1 代桃蚜寿命在不同处理间无显著差异 ($P=0.3188$), 蚜虫寿命在20~23 d。 F_2 代对照处理和混合处理的桃蚜寿命显著低于酵素和木醋液处理植株上的桃蚜 ($P<0.0001$), F_3 代混合处理桃蚜寿命显著降低 ($P<0.0001$)。清水及木醋液处理的植株上桃蚜 F_2 代的寿命显著短于 F_1 和 F_3 代 ($P<0.0001$, $P=0.0188$), 施用酵素的植株上桃蚜不同代之间寿命无显著差异 ($P=0.2788$)。桃蚜“寿命”和“繁殖期”表现相对稳定(但是 F_2 代,尤其清水对照表现大幅度缩短)。寿命和繁殖期都在混合液作用下缩短明显。

桃蚜各世代繁殖期如图5所示,可以看出,除

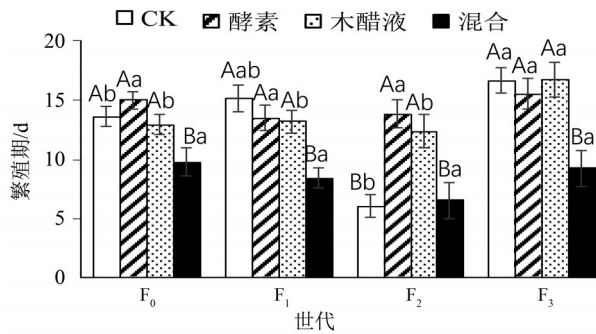


不同大写字母表示不同处理之间的差异达到显著水平;不同小写字母表示不同世代(F_1, F_2 和 F_3)之间的差异达到显著水平。LSD检验, $P<0.05$ 。

图4 不同处理不同世代桃蚜寿命比较(平均值±标准误差)
Fig. 4 Comparison of life span for different generations of *Myzus persicae* in different treatments (mean ± SE)

F₂代外, 混合液处理的桃蚜繁殖期均显著短于对照处理 ($P < 0.0100$)。F₂代对照处理桃蚜繁殖期显著短于其他几代 ($P < 0.0001$), 木醋液处理的 F₃代桃蚜繁殖期显著高于前几代 ($P = 0.0426$)。

桃蚜各世代逐日产蚜量如图6所示。从图6中



不同大写字母表示不同处理 (之间的差异达到显著水平; 不同小写字母表示不同代数 (F₁, F₂和F₃) 之间的差异达到显著水平。LSD 检验, $P < 0.05$ 。

图5 不同处理桃蚜各世代繁殖期比较(平均值±标准误差)
Fig. 5 Comparison of the breeding period of different generations of *Myzus persicae* in different treatments (mean ± SE)

可以看出, F₀代至F₃代桃蚜成蚜逐日产蚜量的高峰期不同, F₀代在整个产蚜周期平均产蚜数较为平均, F₁代和F₂代有2个高峰期, F₃代高峰期出现较早。每个世代不同处理的桃蚜逐日产蚜情况有所不同。F₀代经酵素处理后在产蚜的最初几日数量稍有上升, 中后期下降, 混合处理的桃蚜在前期产蚜量较低, 后期有所上升 (图6a)。除了混合液处理后的桃蚜每日最高产蚜量达到5头外, 其他处理桃蚜每日最高产蚜量低于4头。

F₁代几种处理的桃蚜产蚜在整个阶段均处于较低水平, 尤其以混合溶液降低得最为显著 (图6b)。酵素和木醋液处理的植株桃蚜的产蚜量在中期显著低于对照, 日最高产蚜量均值在4头左右。混合液处理的F₂代产蚜量在前期较低, 而后期仍出现了一个升高的趋势 (图6c), 整体低于其他处理的产蚜量。F₃代桃蚜经酵素、木醋液及混合液处理后在产蚜初期产蚜量较低, 后期和对照差异不显著 (图6d), 前期混合液处理的产蚜量显著低于其他处理。

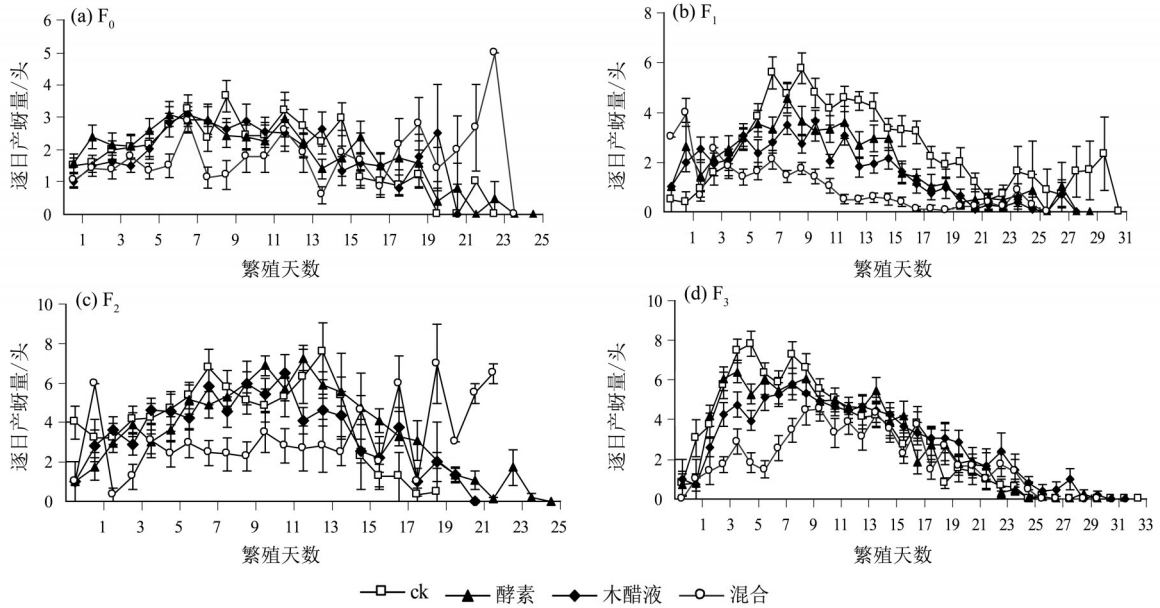


图6 不同处理不同世代桃蚜逐日产蚜量比较

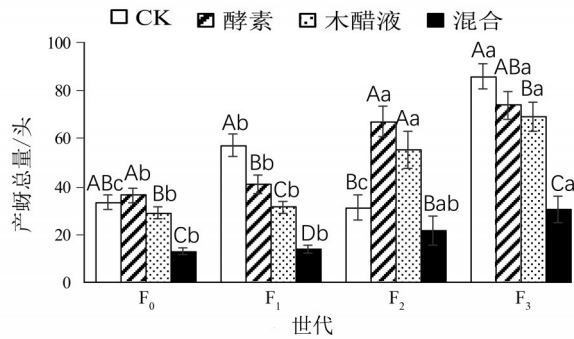
Fig. 6 Comparison of daily aphid reproduction of different generations of peach aphid in different treatments

不同世代桃蚜的产蚜总量比较见图7, 可以看出, 在桃蚜的每个世代中, 混合液处理植株上的桃蚜的产蚜总量显著低于其他处理 ($P < 0.0001$)。F₃代对照植株上桃蚜产蚜总量显著高于前几代 ($P < 0.0001$), 酵素和木醋液处理的植株上桃蚜F₂代和F₃代产蚜总量均显著高于前二代 ($P < 0.0001$), 混合液处理的植株桃蚜F₃代产蚜量显著高于F₀和F₁

代 ($P < 0.0039$)。尽管F₁代酵素和木醋液处理后桃蚜产蚜总量显著减少, 但F₂代和F₃代这种差异减少。不同世代比较, 产蚜数逐代增加, 可能是桃蚜适应寄主的表现。产蚜量, 酵素和木醋液都有降低影响, 而混合液降低最大。

2.4 桃蚜生长发育的响应

不同处理桃蚜各世代发育历期见表2。从表2



不同大写字母表示不同处理之间的差异达到显著水平；不同小写字母表示不同世代 (F₁, F₂和F₃) 之间的差异达到显著水平。LSD 检验, $P < 0.05$ 。

图7 不同处理不同世代桃蚜产蚜总量比较(平均值±标准误差)
Fig. 7 Comparison of total amount of aphid produced by different generations of *Myzus persicae* in different treatments (mean ± SE)

中可知, F₁代取食木醋液和混合液处理植株的桃蚜二龄龄期显著短于对照和酵素处理 ($P=0.0016$), 取食木醋液处理的植株的三龄桃蚜显著低于用酵

素处理 ($P=0.0279$), 木醋液处理的桃蚜四龄龄期显著低于对照处理 ($P=0.0034$), 木醋液处理的桃蚜整个若蚜期显著短于其他处理 ($P=0.0005$)。不同处理F₂代桃蚜各个龄期及整个若蚜期的长度均无显著差异。木醋液和酵素处理的F₃代桃蚜一龄龄期显著比混合短 ($P=0.0143$), 混合处理的F₃代桃蚜二龄、三龄、四龄及整个龄期显著长于另几个处理 ($P < 0.0010$)。清水处理的桃蚜发育历期, F₂代桃蚜二龄期显著长于F₃代 ($P=0.0414$), F₁代桃蚜三龄、四龄及若蚜期显著长于F₂代和F₃代 ($P=0.0017, P=0.0005, P < 0.0001$)。酵素处理的桃蚜发育历期, F₁代桃蚜一龄、二龄、三龄及若蚜期显著长于F₂代和F₃代 ($P=0.0447, P < 0.0001, P=0.0001, P < 0.0001$)。木醋液处理的桃蚜发育历期, F₃代的若蚜期显著短于F₁代和F₂代的若蚜期 ($P=0.0101$), 其他龄期无显著差异。混合处理的桃蚜发育历期, F₃代桃蚜四龄和总若蚜龄期显著长于F₂代 ($P=0.0470, P=0.0378$)。桃蚜“发育历期”逐代缩短, 说明发育加快。

表2 不同处理不同世代桃蚜发育历期¹⁾(均值±标准误差)

Table 2 Development period of different generations of *Myzus persicae* in different treatments (mean ± SE)

世代	不同处理	发育历期/d				
		1龄	2龄	3龄	4龄	若蚜期
F ₁	对照	1.07±0.05Aa	1.10±0.06Bab	1.60±0.16ABa	1.73±0.13Aa	5.50±0.20Aa
	酵素	1.10±0.06Aa	1.67±0.15Aa	1.80±0.21Aa	1.50±0.13ABa	6.07±0.31Aa
	木醋液	1.03±0.03Aa	1.17±0.07Ba	1.27±0.11Ba	1.23±0.10Ba	4.70±0.15Ba
	混合	1.07±0.05Ab	1.50±0.15Aa	1.73±0.17ABa	1.43±0.14ABab	5.73±0.22Aab
F ₂	对照	1.15±0.07Aa	1.23±0.10Aa	1.11±0.06Ab	1.31±0.11Ab	4.81±0.18Ab
	酵素	1.00±0.00Ab	1.21±0.08Ab	1.17±0.07Ab	1.45±0.13Aa	4.70±0.22Ab
	木醋液	1.06±0.06Aa	1.06±0.06Aa	1.29±0.11Aa	1.35±0.12Aa	4.76±0.11Aa
	混合	1.15±0.11Aa	1.20±0.12Aa	1.35±0.21Aa	1.32±0.13Ab	4.95±0.29Ab
F ₃	对照	1.07±0.05ABa	1.00±0.00Bb	1.10±0.06Bb	1.17±0.07Bb	4.33±0.09Bc
	酵素	1.00±0.00Bb	1.00±0.00Bb	1.03±0.03Bb	1.20±0.09Ba	4.23±0.09Bb
	木醋液	1.00±0.00Ba	1.03±0.03Ba	1.07±0.05Ba	1.17±0.07Ba	4.27±0.10Bb
	混合	1.13±0.06Ab	1.30±0.09Aa	1.73±0.16Aa	1.70±0.15Aa	5.87±0.19Aa

1) 不同大写字母表示不同处理之间的差异达到显著水平；不同小写字母表示不同代数 (F₁, F₂和F₃) 之间的差异达到显著水平。LSD 检验, $P < 0.05$ 。

2.5 桃蚜体内可溶性蛋白及解毒代谢酶活性的响应

取食不同液剂处理植株的桃蚜体内可溶性蛋白含量无显著差异 ($P=0.9544$)。

不同处理植株上桃蚜超氧化物歧化酶 (SOD) 活力比较如图 8a 所示。由图 8 可见, 酵素和木醋液

处理植株上桃蚜 SOD 酶活力显著低于对照组 ($P=0.0250$), 混合液处理桃蚜 SOD 酶活力稍低于对照, 未达到显著。

不同处理的植株上桃蚜过氧化氢酶 (CAT) 的活力比较如图 8b 所示, 可以看出, 取食酵素和混合液处理植株的桃蚜 CAT 酶活力显著低于取食清

水和木醋液处理的植株的桃蚜 ($P=0.000\ 2$)。

不同处理的植株上桃蚜体内的谷胱甘肽-S-转移酶 (GST) 的活力比较如图 8c 所示, 从图中可以看出, 取食木醋液处理植株的桃蚜 GST 酶活力显著低于其他处理植株的桃蚜 ($P=0.000\ 8$), 其余几个处理桃蚜 GST 酶活力无显著差异。

不同处理的植株上桃蚜 CarE 酶的活力比较如图 8d 所示, 可以看出, 取食木醋液处理植株的桃蚜 CarE 酶活力显著高于混合处理植株的桃蚜 ($P=0.033\ 0$), 其余几个处理桃蚜 CarE 酶活力无显著差异。

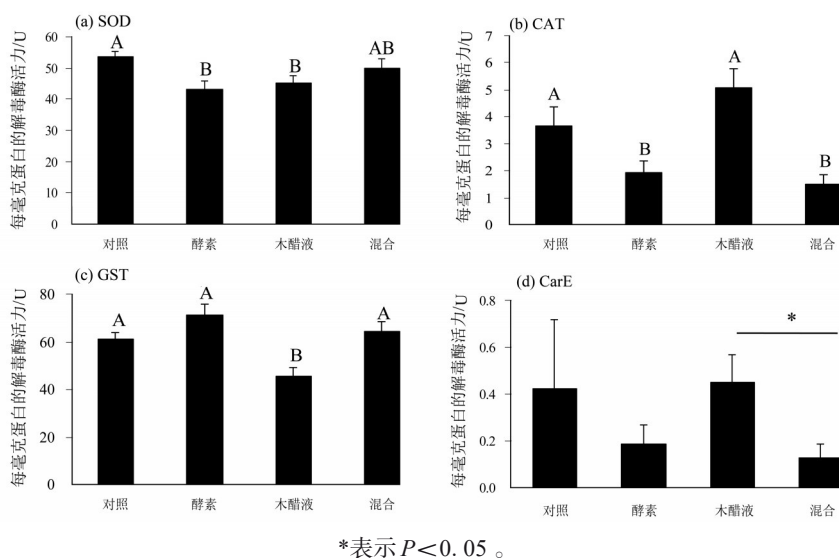


图8 不同处理桃蚜抗逆酶活性比较 (平均值±标准误差)

Fig. 8 Comparison of activities of anti-stress enzymes in *Myzus persicae* among different treatments (mean ± SE)

3 讨论

酵素处理后的植株全株生物量和根系占比明显增加, 酵素作为有机生物菌肥能够有效减少化学化肥的使用; 有研究表明, 施用酵素菌肥能够显著提高番茄叶片叶绿素和叶片的光合速率, 番茄成熟度和产量也都有显著提高^[19]。

木醋液和混合处理都能够有效抑制各虫态桃蚜, 对于能够传播植物病毒的有翅蚜的抑制效果明显。另有研究发现木醋液对多种害虫的触杀作用明显, 并且对害虫幼虫的生长发育有着显著的抑制作用^[15]。混合液对桃蚜的各虫态的抑制效果高于木醋液处理, 尤其是对于有翅蚜的抑制作用, 由此可以看出, 酵素能够增强木醋液的这种有害生物 (虫害病害) 抑制作用。酵素和木醋液混合能够有效地抑制害虫的生长发育, 能够在一定程度上减少病毒病的传播。

木醋液和酵素在生物肥和对害虫毒杀作用方面的研究较多, 但是关于二者对害虫生长发育的影响的研究较少。有研究发现施用木醋液对根结线虫二龄幼虫的生长发育和石榴根结线虫病、番茄根结线虫病均具有明显的抑制作用^[20]。首先, 混合液处理中桃蚜的寿命、繁殖期和产蚜量都明

显缩短, 说明酵素和木醋液对桃蚜的繁殖和寿命起到了抑制作用。木醋液可以加速药物溶解, 增加药物对昆虫和植物的渗透性和附着力^[21]。其次, 酵素和木醋液单独处理都能有效降低桃蚜的生命表参数, 混合液的影响效果最大, 但是, 在观察的第四代时, 桃蚜表现出对“寄主”和“施肥”适应性变化, 繁殖率逐代增加, 即相同处理桃蚜繁殖力逐代上升, 推测原因主要在于桃蚜对植物寄主的适应, 依据是对照组表现出同样趋势。

桃蚜体内的抗逆酶活性增强时, 桃蚜对化学药剂的抗性也增强, 化学药剂对其的毒害作用下降^[22-23]。SOD、CAT、GST、CarE 是桃蚜体内重要的抗逆酶, 研究它们在桃蚜体内的变化是防治工作的关键部分^[23-24]。有研究表明比较藜芦的甲醇 (MA)、乙酸乙酯 (EA) 和石油醚 (PE) 的提取物对桃蚜的接触毒性, 提取物对抗逆酶的抑制作用与其接触毒性作用有关^[25], 代谢酶活性的下降可能是桃蚜死亡率提高的重要原因之一^[10]。本研究中酵素和木醋液分别对桃蚜体内的 SOD、CAT、GST 3 种抗逆酶活性均有抑制作用, 同时也证明了两者的有效增加桃蚜对药剂的敏感性, 降低桃蚜对药剂的抗性。

参考文献:

- [1] JEGER M, BRAGARD C, CAFFIER D, et al. Pest categorisation of *Apiosporinamorboza* [J]. *EFSA Journal*, 2018, 16(4): e05244.
- [2] HE B Y, CHEN X YL, YANG H, et al. Microbiome structure of the aphid *Myzus persicae*(Sulzer) is shaped by different solanaceae plant diets [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2021, 12: 667257.
- [3] RADCLIFFE E B, RAGSDALE D W. Aphid-transmitted potato viruses: The importance of understanding vector biology [J]. *American Journal of Potato Research*, 2002, 79(5): 353-386.
- [4] CRISAN L, BOROTA A, SUZUKI T, et al. An approach to identify new insecticides against *Myzus persicae*. In silico study based on linear and non-linear regression techniques [J]. *Molecular Informatics*, 2019, 38(8/9): 1800119.
- [5] 潘明真, 张毅, 曹贺贺, 等. 我国主要农作物蚜虫生物防治的研究进展、应用与展望[J]. *植物保护学报*, 2022, 49(1): 146-172.
- [6] SALEESHA F M A, KENNEDY J S, RAJABASKAR D, et al. Temperature dependent development of *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae) in Cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) [J]. *Agricultural Research*, 2022, 11(3): 488-498.
- [7] NETO J E L, ROLIM G G, de MARIA S L S, et al. Efficacy and toxicity of insecticides to green peach aphid[J]. *Revista de Ciências Agrárias*, 2019, 62: 1-5.
- [8] SIAL M U, ZHAO Z Z, ZHANG L, et al. Loop-mediated isothermal amplification for the detection of R81T mutation in nAChR with crude genomic DNA extracted from individual *Myzus persicae*[J]. *Journal of Pest Science*, 2020, 93(1): 531-541.
- [9] 于慧龄, 叶乐夫, 王雪, 等. 木醋液对桃蚜生长繁殖的急性慢性效应[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(18): 147-152.
- [10] ZHU J F, GAO W C, GE L, et al. Immobilization properties and adsorption mechanism of nickel (II) in soil by biochar combined with humic acid-wood vinegar [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 215(5): 112159.
- [11] BULAI I S, ADAMU H, UMAR Y A, et al. Biocatalytic remediation of used motor oil-contaminated soil by fruit garbage enzymes[J]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, 9(4): 105465.
- [12] TONG Y J, LIU B G. Test research of different material made garbage enzyme's effect to soil total nitrogen and organic matter [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 510(4): 042015.
- [13] 王丽丽, 湛江华, 柴伟纲, 等. 7种生物酵素对病虫害的室内防治作用初探[J]. *浙江农业科学*, 2014(8): 1209-1211.
- [14] 马承慧, 杨国亭, 刘牧, 等. 植物源杀虫剂及其木醋液混合液对油松毛虫的防治效果[J]. *东北林业大学学报*, 2008, 36(3): 76-77.
- [15] 冯晨, 王海英, 刘志明, 等. 松木屑木醋液对舞毒蛾幼虫的毒杀活性[J]. *西南农业学报*, 2016, 29(11): 2604-2608.
- [16] KIM D H, SEO H E, LEE S C, et al. Effects of wood vinegar mixed with insecticides on the mortalities of *Nilaparvata lugens* and *Laodelphax striatellus* (Homoptera: Delphacidae) [J]. *Animal Cells and Systems*, 2008, 12(1): 47-52.
- [17] 于慧龄. 木醋液对桃蚜繁殖和发育的影响[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2021.
- [18] 李宁. 几种蛋白质测定方法的比较[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2006, 26(2): 132-134.
- [19] 于晶, 纪立东, 孙权, 等. 酵素菌肥不同施用量对露地番茄产量和品质的影响[J]. *北方园艺*, 2013(16): 42-45.
- [20] 李维蛟, 李强, 胡先奇. 木醋液的杀线活性及对根结线虫病的防治效果研究[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(11): 4120-4126.
- [21] 平安, 杨国亭, 魏金玲. 木醋液与5种植物提取物混用对菜青虫的防治效果[J]. *东北林业大学学报*, 2010, 38(6): 131-132.
- [22] DEVONSHIRE A L. The properties of a carboxylesterase from the peach-potato aphid, *Myzus persicae* (Sulz.), and its role in conferring insecticide resistance [J]. *Biochemical Journal*, 1977, 167(3): 675-683.
- [23] LI M Y, WANG Y, LEI X, et al. Molecular characterization of a catalase gene from the green peach aphid (*Myzus persicae*) [J]. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 2021, 108(2): e21835.
- [24] HATFIELD M J, UMANS R A, HYATT J L, et al. Carboxylesterases: General detoxifying enzymes[J]. *Chemico-Biological Interactions*, 2016, 259: 327-331.
- [25] 雷安平, 陈欢, 黎双飞, 等. 谷胱甘肽S-转移酶的功能、应用及克隆表达[J]. *环境科学与技术*, 2009, 32(12): 85-91.

(责任编辑 张冰)