

木醋液对两种药剂防治桃蚜的增效作用*

李振宇¹, 叶乐夫², 甘杨广¹, 池阳¹, 王莉青¹, 徐臻¹, 付雪¹

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. 东北农业大学植物保护学院, 黑龙江 哈尔滨 150030

摘要: 通过探讨木醋液对呋虫胺、螺虫乙酯两种内吸性药剂防治桃蚜是否有增效作用, 为桃蚜的绿色防控提供一定的研究基础。测定了木醋液对两种药剂的增效作用和木醋液对桃蚜体内解毒酶活性的影响, 并进行了木醋液与两种药剂复配后对桃蚜种群和盆栽药效试验。结果显示: 1) 5 mL/L 木醋液对呋虫胺防治桃蚜的增效比达到了 25.9, 20 mL/L 的木醋液对螺虫乙酯防治桃蚜的增效比达到了 20.3。2) 木醋液通过抑制桃蚜体内解毒酶 (AChE、CarE) 活性, 桃蚜对药剂的降解能力减弱, 从而利于两种药剂发挥药效。3) 通过盆栽试验发现, 稀释 200 倍的木醋液, 对 3 种浓度呋虫胺桃蚜防效均有显著的增强, 起到了增效作用。稀释 100、200 倍的木醋液均对螺虫乙酯桃蚜防效有显著提升作用。4) 木醋液浓度过高会抑制小白菜植株生长, 且木醋液抑制小白菜叶片合成叶绿素。对桃蚜种群的主要影响是, 降低了种群增殖力。综上, 木醋液可作为一种绿色增效剂来延缓桃蚜对螺虫乙酯和呋虫胺的抗药性并增强防治效果。

关键词: 木醋液; 桃蚜; 增效; 解毒酶

中图分类号: S433.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137 (2023) 06-0071-09

The synergistic effect of wood vinegar on two kinds of pesticides against *myzus persicae*

LI Zhenyu¹, YE Lefu², GAN Yangguang¹, CHI Yang¹, WANG Liqing¹, XU Zhen¹, FU Xue¹

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

2. College of Plant Protection, Northeast Agriculture University, Harbin 150030, China

Abstract: Through exploring whether wood vinegar has a synergistic effect on the control of *Myzus persicae* with two kinds of internal absorption agents, dinotefuran and spirulin ethyl, so as to provide certain research basis for green control of *Myzus persicae*. The synergistic effect of wood vinegar on two pesticides was determined, and the effect of wood vinegar on the detoxification enzyme activity in *Myzus persicae* was also measured. The efficacy of wood vinegar combined with two pesticides on *Myzus persicae* populations and potted plants was then tested. The results show that: 1) The synergic ratio of 5 mL/L wood vinegar to dinotefuran control *Myzus persicae* was 25.9, and the synergic ratio of 20 mL/L wood vinegar to spirulate control *Myzus persicae* was 20.3. 2) Wood vinegar reduces the resistance of *Myzus persicae* to insecticides by inhibiting the activity of detoxifying enzymes (GST, AChE, CarE) in their bodies, thereby facilitating the effectiveness of the two insecticides. 3) Through

* 收稿日期: 2023-04-25

录用日期: 2023-06-09

网络首发日期: 2023-07-26

基金项目: 黑龙江省省属高等学校基本科研业务费项目(2022-KYYWF-1068); 黑龙江大学研究生创新科研项目(YJSCX2022-264HLJU)

作者简介: 李振宇(1998年生), 男; 研究方向: 农业昆虫与害虫防治; E-mail: 765177023@qq.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

pot experiment, it was found that the wood vinegar diluted 200 times significantly enhanced the control effect of dinotefuran at three concentrations against *Myzus persicae*, and played a synergistic role. The wood vinegar diluted by 100 or 200 times has a significant improvement on the control of spirochete against *Myzus persicae*. 4) High concentration of wood vinegar could inhibit the growth of Chinese cabbage plants, and wood vinegar inhibits the synthesis of chlorophyll in chinese cabbage leaves. The main impact on the *Myzus persicae* population is a decrease in population fertility. In conclusion, wood vinegar can be used as a green synergist to delay the resistance of peach aphid to spirulate and dinotefuran and enhance the control effect.

Key words: wood vinegar; *Myzus persicae*; synergism; detoxification enzyme

桃蚜(*Myzus persicae* Suizer)属半翅目(Hemiptera), 蚜科(Aphididae), 又名桃赤蚜、烟蚜、腻虫等, 其严重危害植株的生长, 是世界性农林业害虫(Weber, 1985; 李凌云等, 2022)。桃蚜的寄主非常广泛, 既可为害果树(李、桃、梨等), 又可为害农作物(白菜、萝卜、烟草、油菜等), 寄主共计400多种(曲春鹤等, 2017)。桃蚜以刺吸式口器吸取寄主茎、叶等部位的汁液, 使寄主植物叶绿素减少, 影响光合作用, 叶片卷曲、掉落, 生长点停止生长(于慧龄等, 2021; 王欣宇等, 2022)。同时, 桃蚜排泄的蜜露会引起植株煤污病。此外, 桃蚜可以传播100多种植物病毒(Blackman et al., 2001), 给植株带来更严重的危害, 造成了全球作物生产的巨大损失。

呋虫胺(dinotefuran)是一种新型的第三代烟碱类杀虫剂, 主要作用于害虫的乙酰胆碱受体, 阻断神经中枢的传导, 引起麻痹, 发挥杀虫的效果(Mori et al., 2002)。呋虫胺杀虫谱广泛, 对刺吸式口器的害虫如蚜虫、粉虱、飞虱等具有较好防治效果。螺虫乙酯(spirotetramat)属于季酮酸类化合物。通过抑制乙酰辅酶A羧化酶(ACC, acetyl CoA carboxylase)的活性, 降低蚜虫、飞虱、粉虱等刺吸式口器害虫体内脂肪酸生物的合成, 因此具有杀虫活性(Demaeght et al., 2013)。从而有效地保护植物的根系和叶片免受损害(张庆宽, 2009)。

害虫抗药性治理的主要目的是降低害虫对农药的敏感性, 以最小的农药剂量来达到控制虫害的效果(乔宪凤等, 2023)。使用增效剂可以大幅度降低杀虫剂的用量, 减少成本, 并能够延缓害虫对杀虫剂的抗药性, 达到长久治理的目标(汤秋玲等, 2016)。增效剂虽不具有杀虫作用, 但有的增效剂能够抑制害虫体内的解毒代谢酶活性, 从而显著提高杀虫控害的效果。还有些增效剂的原理是通过降低害虫和药剂之间的接触角和表面张力, 提高药剂的吸附能力, 增加渗透力, 减少药剂的

流失, 尽量使药效得以发挥作用。研究发现, 顺丁烯二酸二乙酯(DEM)、增效醚(PBO)和三苯基磷酸酯(TPP)3种增效剂对吡虫啉和啶虫脒防治棉蚜有增效作用(郭天凤等, 2014)。还有研究表明, 在防治棉蚜时, TPP和PBO能显著提高吡虫啉、呋虫胺的毒力(Chen et al., 2020; 尚娇等, 2020)。 $\varphi=0.15\%$ Fieldor Max 乳油增效剂对噻虫嗪和吡虫啉防治棉蚜有显著的减量以及增效作用(张谦等, 2021)。竹醋可以作为一种增效剂用于防治紫薇长斑蚜。当竹醋含量增加时, 药剂接触角会变小, 黏附能力也会增强, 有助于药剂的有效吸收, 从而提高药效(吴春来等, 2018)。此外植物油、有机硅类、精油助剂等, 均可增加农药防治蚜虫的药效, 从而起到延缓抗性的作用。

木醋液是农林生产中废弃的作物秸秆、木材燃烧后形成的气体, 再经过冷凝、液化后提取出的一种液体, 液体呈红褐色、酸性(Ho et al., 2017)。木醋液的成分十分复杂, 主要成分是水, 其次还含有胺类、醇类、脂类等有机成分, 以及Ca、Zn、Mn、K等微量的矿物元素(Mun et al., 2010; 卢辛成等, 2017; 胡小凤等, 2019)。17世纪, 木醋液最初被用于生产工业产品, 如甲醇、乙酸等。之后美国、日本、韩国相继使之应用于园艺、林业、农业、食品加工、医药等方面。直至20世纪80年代末, 中国才逐渐将精制的木醋液应用在农业上(钱慧娟, 1994; 潘琴等, 2020; 黄群义, 2022; 刘琦, 2022)。木醋液用于农业方面能够有效防治病虫害、改良土壤、促进植物生长发育, 增加产量与效益等(Grewal et al., 2018; Lu et al., 2019)。

木醋液为绿色生物制剂, 于慧龄等(2021)和王欣宇等(2022)在前期研究中发现杏壳木醋液对桃蚜的解毒代谢酶水平有一定影响。本文以桃蚜作为研究对象, 探讨木醋液对呋虫胺、螺虫乙酯两种内吸性药剂防治桃蚜是否有增效作用, 为桃

蚜的绿色防控提供一定的研究基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 寄主植物及供试昆虫 寄主植物为小白菜 (*Brassica chinensis* L.), 室内种植, 种子购于合肥合丰公司。桃蚜 (*Myzus persicae* Sulzer) 为实验室多年连续数十代养殖的敏感种群, 未接触过农药无抗药性。人工气候箱条件: 温度白天(28±1) °C, 夜间(23±1) °C, 相对湿度(50±10)%, 光照周期L:D=14 h:10 h。

1.1.2 供试药剂和仪器 木醋液: 杏壳木醋液 (pH=2.83), 哈尔滨五常市润农科技有限公司; 呋虫胺 (w=20%可溶粒剂), 日本三井化学AGRO株式会社; 螺虫乙酯 (φ=22.4%悬浮剂), 青岛恒丰作物科学有限公司。

智能人工气候箱RXZ-268B、紫光灯、高速离心机、可见光分光光度计、恒温水浴锅、手提式不锈钢蒸汽灭菌锅、电热鼓风干燥机等。

1.2 试验方法

1.2.1 木醋液对呋虫胺、螺虫乙酯防治桃蚜“增效作用”测定 采用喷施法测定木醋液、呋虫胺、螺虫乙酯对桃蚜的毒力, 以清水作为对照。木醋液梯度设置为2.5、5、10、20、50 mL/L, 呋虫胺梯度设置为0.08、0.1、0.13、0.2、0.25、0.4 g/L, 螺虫乙酯梯度设置为0.09、0.11、0.15、0.22、0.28、0.45 mL/L, 再将不同梯度的呋虫胺、螺虫乙酯分别与不同梯度的木醋液两两交叉混合。设置清水组对照, 共78组组处理, 每个处理重复3次。剪下新鲜小白菜叶片, 放置在培养皿(直径9 cm)中, 用脱脂棉浸湿后包裹住叶柄, 防止叶片萎焉。叶片上转移20头无翅成蚜, 喷两次配制好的试剂, 用封口膜封住培养皿, 防止桃蚜逃逸。分别在24、48、72 h后记录死虫数(用毛笔触碰虫体, 不动即为死亡), 计算死亡率及校正死亡率以及增效比。

$$\text{校正死亡率} = \frac{\text{处理组死亡率} - \text{对照组死亡率}}{1 - \text{对照组死亡率}} \times 100\%$$

$$\text{增效比} = \frac{\text{药剂的LC}_{50}}{\text{添加增效剂后的LC}_{50}}$$

1.2.2 木醋液对桃蚜解毒酶活性的影响 取大小基本一致的小白菜叶片, 平铺于培养皿内, 用湿棉球给叶柄保湿, 每个叶片移接无翅成蚜20头。木醋液稀释梯度为2.5、5、10、20 mL/L, 分别用微量点滴器把不同稀释梯度的木醋液点在虫体上, 每个处理重复5次。1 h后测定不同处理的蚜虫的解毒酶活性, 包括谷胱甘肽-S转移酶(GST)、乙酰胆碱酯酶(AChE)、羧酸酯酶(CarE)。

测定方法: 采用南京建成生物科技有限公司的试剂盒, 按说明书进行操作。

1.2.3 木醋液与呋虫胺、螺虫乙酯复配对小白菜生长和桃蚜种群的影响 用直径7 cm、高度7.5 cm的花盆单株种植小白菜, 待其长至5~6叶期时, 在每株小白菜上接5头刚羽化的雌成蚜, 24 h待其产若蚜后, 去除成蚜和多余的若蚜, 每株植株上只留5头若蚜。分别喷施配置药液, 每隔6 d喷施1次。呋虫胺为0.407 g/L(LC₂₅), 螺虫乙酯为0.056 mL/L(LC₁₀)(此含量不会导致桃蚜若虫直接死亡), 根据增效试验测定得出的两组木醋液与两种农药的最佳配比的LC₂₅: 呋虫胺复配液(5 mL/L木醋液+0.00241 g/L呋虫胺), 螺虫乙酯复配液(20 mL/L木醋液+0.171 μL/L螺虫乙酯)。另设清水对照, 共5组处理, 每个处理重复10次。每10 d测量一次植株叶面积、叶片数和株高。试验进行4周左右, 可进行样品的收集。把每株小白菜上的桃蚜轻轻用毛笔扫下, 分别装入试管, 放入-20 °C冰箱冻存。小白菜称量后, 与桃蚜同样条件保存。后续测量小白菜生物量、含水量以及叶绿素含量, 桃蚜体内蛋白量以及解毒酶变化。

1.2.4 木醋液与呋虫胺、螺虫乙酯复配对桃蚜盆栽防效试验 用直径7 cm、高度7.5 cm的花盆单株种植小白菜。待其长至4~5叶期, 挑选长势一致的小白菜苗, 将饲养的健康无翅成蚜转移到盆栽上。每盆移接30头, 待接虫2 d后, 再次清点并记录虫口基数。呋虫胺、螺虫乙酯分别选定室内毒力测定结果的LC₅₀、LC₂₅、LC₁₀的质量浓度, 木醋液选定稀释100、200和400倍液。将木醋液与两种农药两两复配, 以及两种农药单独施用, 设置清水对照, 共25组处理, 每处理重复3次。对带有桃蚜的植株喷施, 至叶片将要滴水, 分别于施药后第1、3、5、7天调查盆栽上的活虫数, 计算虫口减退率, 校正防效。

$$\text{虫口减退率} = \frac{\text{施药前活虫数} - \text{施药后活虫数}}{\text{施药前活虫数}} \times 100\%$$

$$\text{校正防效} = \frac{\text{处理区虫口减退率} - \text{对照区虫口减退率}}{1 - \text{对照区虫口减退率}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 木醋液对呋虫胺、螺虫乙酯毒杀桃蚜增效作用测定

药后72 h, 呋虫胺对桃蚜的毒力回归方程为

$$y = 1.935x + 6.4545 \quad (R^2 = 0.9137),$$

螺虫乙酯对桃蚜的毒力回归方程为

$$y = 1.0838x + 5.8351 \quad (R^2 = 0.7694),$$

式中 y 为校正死亡率机率值, x 为质量浓度或体积分数的对数, R^2 为相关系数。

两种农药对桃蚜的毒杀作用与含量成正相关。5种不同体积分数的木醋液对两种农药毒杀桃蚜有

着不同程度的增效作用。5 mL/L 木醋液对呋虫胺防治桃蚜有着最大的增效作用, 增效比达到了25.9。20 mL/L 的木醋液对螺虫乙酯防治桃蚜有着最大的增效作用, 增效比达到了20.3(表1)。

表1 不同 φ (木醋液)对两种农药毒杀桃蚜的增效作用¹⁾

Table 1 Synergistic effect of different concentrations of wood vinegar on two pesticides against *Myzus persicae*

供试农药	φ (木醋液)/(mL·L ⁻¹)	毒力回归方程	LC ₅₀ /(g·L ⁻¹)	相关系数 R^2	增效比
呋虫胺	0	$y = 1.935x + 6.4545$	0.1771	0.9137	/
	2.5	$y = 0.406x + 5.7264$	0.0162	0.9786	11.1
	5	$y = 0.3126x + 5.6748$	0.0069	0.8632	25.9
	10	$y = 0.4319x + 5.7616$	0.0172	0.9598	10.4
	20	$y = 0.4841x + 5.8656$	0.0163	0.8599	11.1
	50	$y = 0.9030x + 6.2760$	0.0386	0.8652	4.7
螺虫乙酯	0	$y = 1.0838x + 5.8351$	0.1696	0.7694	/
	2.5	$y = 0.5357x + 5.7148$	0.0463	0.8552	3.6
	5	$y = 0.7430x + 6.0573$	0.0378	0.8235	4.4
	10	$y = 0.9733x + 6.0583$	0.0818	0.7831	2.0
	20	$y = 0.2897x + 5.6053$	0.0081	0.9323	20.3
	50	$y = 0.4652x + 5.9164$	0.0107	0.8628	15.4

1) x : 质量浓度或体积分数的对数; y : 校正死亡率机率值。

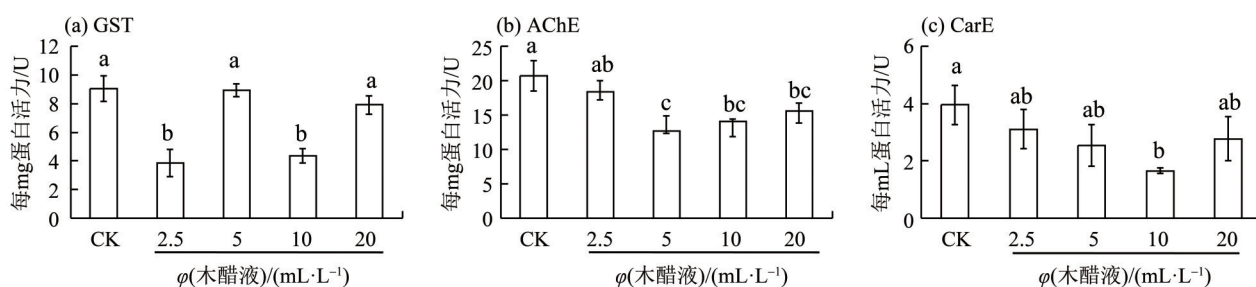
2.2 木醋液对桃蚜解毒酶活性的影响

图1是不同处理条件下木醋液对桃蚜解毒酶活性的影响。2.5和10 mL/L木醋液作用桃蚜后其体内的GST活力都极显著低于清水对照($P < 0.001$), 分别降低了57.3%、51.9%(图1a)。5、10和20 mL/L木醋液作用后桃蚜体内AChE活力均显著降低($P = 0.003, P = 0.041, P = 0.01$), 分别低约38.7%、32.1%、24.8%(图1b)。10 mL/L木醋液作用后桃蚜体内CarE活力显著降低($P = 0.037$), 低约58.0%(图1c)。

2.3 木醋液与呋虫胺、螺虫乙酯复配对桃蚜盆栽防效试验

图2为木醋液与呋虫胺复配对盆栽植株桃蚜的

防效。从图2中可以看出, 呋虫胺与木醋液复配随着作用时间增加, 对桃蚜的防效逐渐增强。添加稀释200倍木醋液的呋虫胺LC₅₀处理在观察的几天时间防效均显著高于呋虫胺单独处理20%左右($P = 0.032, P = 0.005, P < 0.001, P = 0.003$)。施药后第3和第5天, 稀释400倍的木醋液添加后防效显著高于呋虫胺单独处理($P = 0.004, P = 0.022$) (图2a)。呋虫胺LC₂₅处理与稀释100倍木醋液复配后施药后1 d, 防效显著降低($P = 0.034$)。施药后第3、5、7天, 稀释200倍木醋液与呋虫胺复配后防效均显著高于呋虫胺单独作用($P = 0.017, P = 0.008, P = 0.008$), 增幅分别约20%、19%和11%(图2b)。



图中不同字母表示在Duncan氏新复极差法检验中存在0.05水平上的不同显著差异。

图1 不同 φ (木醋液)处理下桃蚜体内GST、AChE和CarE活力

Fig. 1 GST, AChE and CarE activities in *Myzus persicae* treated with different concentrations of wood vinegar

木醋液与呋虫胺 LC₁₀ 复配后前期防效并无显著变化, 只在施药后第7天, 木醋液稀释200倍与呋虫胺复配的防效均显著高于呋虫胺处理组 ($P = 0.01$), 增幅约13% (图2c)。

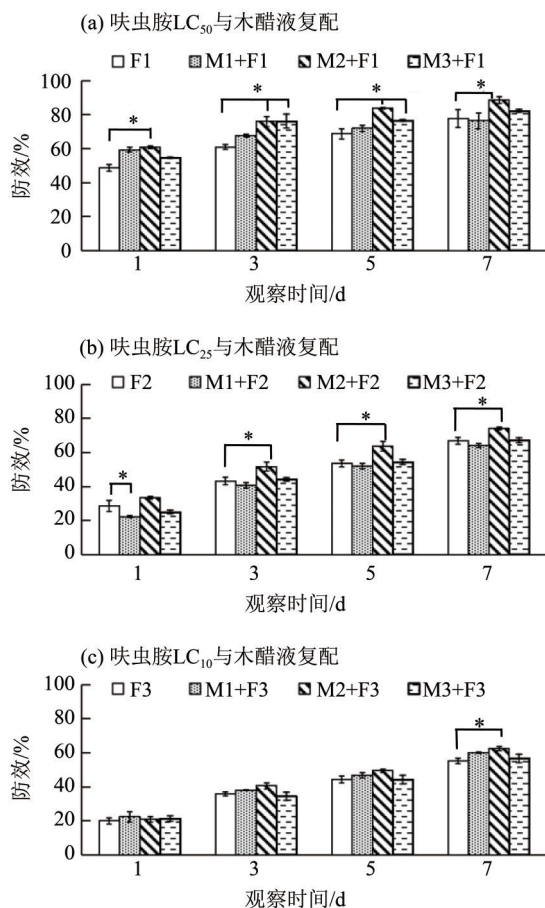
木醋液与螺虫乙酯复配对盆栽试验桃蚜防效如图3所示, 不同含量的螺虫乙酯与木醋液复配随着作用时长增加, 对桃蚜的防效逐渐增强。稀释200倍木醋液与螺虫乙酯 LC₂₅ 复配后施药后第3、5天防效均显著高于螺虫乙酯单独作用 ($P < 0.001$, $P = 0.014$) (图3b)。与螺虫乙酯 LC₁₀ 复配后施药后第1、5、7天防效均显著高于药剂单独作用 ($P = 0.037$, $P = 0.009$, $P < 0.001$), 分别高约52.3%、15.1%、13.3% (图3c)。稀释400倍木醋液与螺虫乙酯 LC₅₀ 复配后第7天, LC₂₅ 复配后第5、7天, 药效均显著高于药剂单独作用 ($P = 0.015$, $P = 0.026$,

$P = 0.01$) (图3a、3b)。

2.4 木醋液与呋虫胺、螺虫乙酯复配对小白菜和桃蚜种群的影响

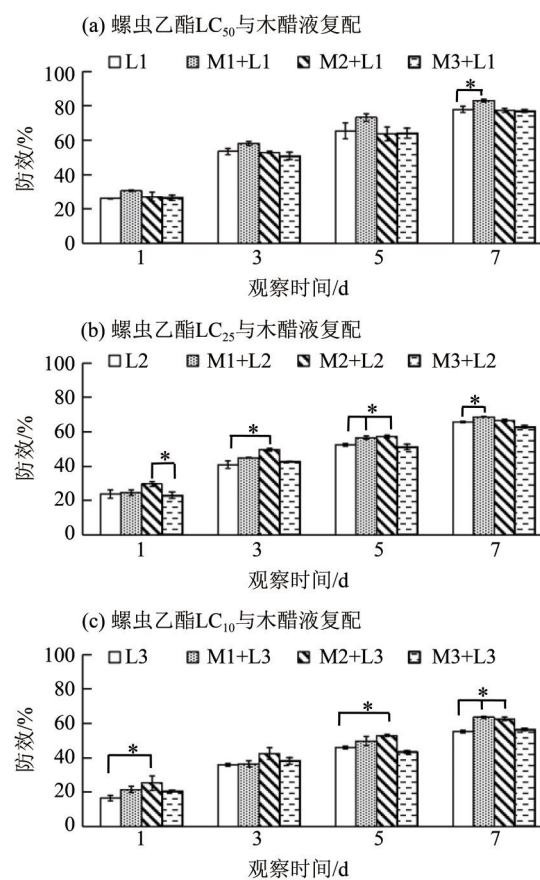
2.4.1 木醋液与呋虫胺、螺虫乙酯复配对小白菜生长的影响

呋虫胺、螺虫乙酯、呋虫胺复配液、螺虫乙酯复配液对有虫小白菜植株生长的影响见图4。从图4中可以看出, 螺虫乙酯与木醋液复配后对小白菜植株生长的影响显著低于螺虫乙酯组和呋虫胺复配液作用 ($P = 0.005$, $P = 0.026$), 分别低约40.2%、35.6% (图4a); 螺虫乙酯处理后叶片增量显著低于对照组31.8% ($P = 0.003$), 也低于呋虫胺复配液处理28.6% ($P = 0.011$)和螺虫乙酯复配液处理31.8% ($P = 0.003$) (图4b); 螺虫乙酯复配液处理后叶面积增量极显著低于对照组 ($P < 0.001$) (图4c)。



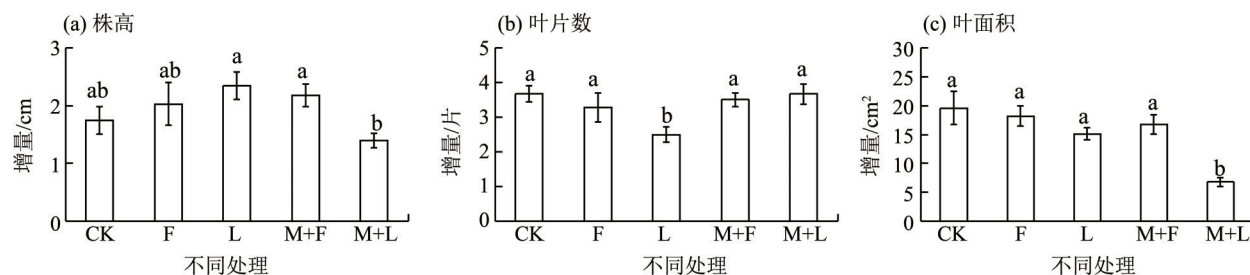
F1、F2、F3 分别表示呋虫胺对桃蚜室内毒力的 LC₅₀、LC₂₅、LC₁₀; M1、M2、M3 分别表示木醋液稀释100倍、200倍、400倍液; *表示在 Duncan 氏新复极差法检验中存在 0.05 水平上的显著差异。

图2 木醋液与呋虫胺复配对盆栽植株上桃蚜的药效
Fig. 2 Effect of wood vinegar mixed with dinotefuran on *Myzus persicae* on potted plants



L1、L2、L3 分别表示螺虫乙酯对桃蚜室内毒力的 LC₅₀、LC₂₅、LC₁₀; M1、M2、M3 分别表示木醋液稀释100倍、200倍、400倍液; *表示在 Duncan 氏新复极差法检验中存在 0.05 水平上的显著差异。

图3 木醋液与螺虫乙酯复配对盆栽植株上桃蚜的药效
Fig. 3 The efficacy of the combination of wood vinegar and spirotetramethyl ethyl ester on *Myzus persicae* on potted plants



CK: 清水对照; F: 呋虫胺; L: 螺虫乙酯; M+F: 木醋液和呋虫胺复配; M+L: 木醋液和螺虫乙酯复配; 图中不同字母表示在 Duncan 氏新复极差法检验中存在 0.05 水平上的不同显著差异。

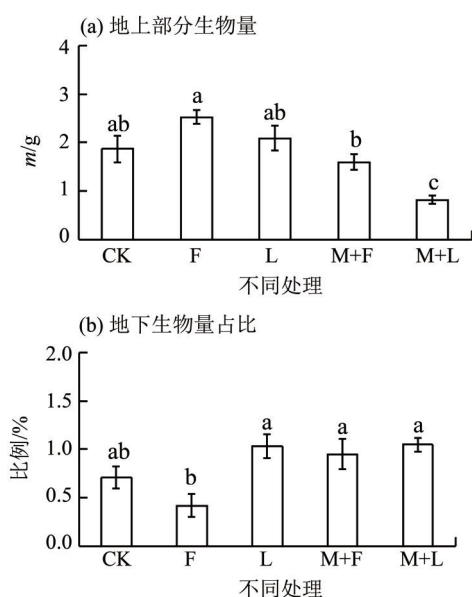
图 4 不同处理对小白菜植株生长的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on the growth of *Brassica chinensis* L.

2.4.2 木醋液与呋虫胺、螺虫乙酯复配对小白菜生物量的影响

呋虫胺、螺虫乙酯、呋虫胺复配液、螺虫乙酯复配液作用下桃蚜为害小白菜植株生物量如图 5 所示。从图 5 中可以看出, 螺虫乙酯复配液作用后植株地上部分生物量显著低于其它处理 ($P < 0.05$) (图 5a); 地下生物量占比中, 呋虫胺组显著低于螺虫乙酯组、螺虫乙酯复配液、呋虫胺复配液 ($P = 0.002, P = 0.001, P = 0.008$), 分别低约 59.4%、60.0% 和 55.9% (图 5b)。

2.4.3 木醋液与呋虫胺、螺虫乙酯复配对小白菜叶绿素含量的影响



CK: 清水对照; F: 呋虫胺; L: 螺虫乙酯; M+F: 木醋液和呋虫胺复配; M+L: 木醋液和螺虫乙酯复配; 图中不同字母表示在 Duncan 氏新复极差法检验中存在 0.05 水平上的不同显著差异。

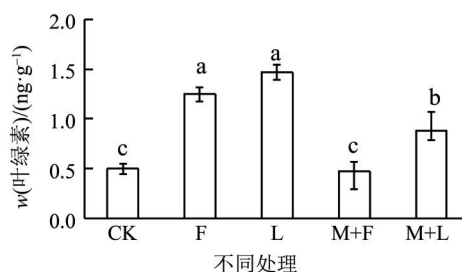
图 5 不同处理对小白菜生物量的影响

Fig. 5 Effects of different treatments on the biomass of *Brassica chinensis* L.

呋虫胺复配液、螺虫乙酯复配液作用下, 桃蚜为害小白菜植株叶绿素含量如图 6 所示。从图 6 中可以看出, 螺虫乙酯组与呋虫胺组叶绿素含量无显著差异 ($P > 0.05$), 呋虫胺组显著高于清水对照组、呋虫胺复配液处理 ($P < 0.001, P < 0.001$), 分别高约 150%、163%。螺虫乙酯组显著高于清水对照组、呋虫胺复配液处理和螺虫乙酯复配液处理 ($P < 0.001, P < 0.001, P < 0.001$), 分别高约 194%、209%、67%。呋虫胺和螺虫乙酯分别施用后, 叶绿素含量显著增加, 分别再加入木醋液后, 叶绿素含量恢复到清水对照的水平或者有显著回落。

2.4.4 木醋液与呋虫胺、螺虫乙酯复配对桃蚜种群动态的影响

不同处理的桃蚜种群动态如图 7 所示。从图 7a 中可以看出, 若蚜数量在观察后期不断增多, 在第 8 次观察时达到峰值; 在第 7、8、9 次观察中, 螺虫乙酯复配液处理组若蚜均显著低于螺虫乙酯组 ($P = 0.015, P = 0.004, P = 0.015$), 分别低约 36.3%、26.5%、33.6%; 在第 7、8 次观察中, 螺虫乙酯复配液处理组均显著低于对照组



CK: 清水对照; F: 呋虫胺; L: 螺虫乙酯; M+F: 木醋液和呋虫胺复配; M+L: 木醋液和螺虫乙酯复配; 图中不同字母表示在 Duncan 氏新复极差法检验中存在 0.05 水平上的不同显著差异。

图 6 不同处理对小白菜叶绿素含量的影响

Fig. 6 Effect of different treatments on chlorophyll content of *Brassica chinensis* L.

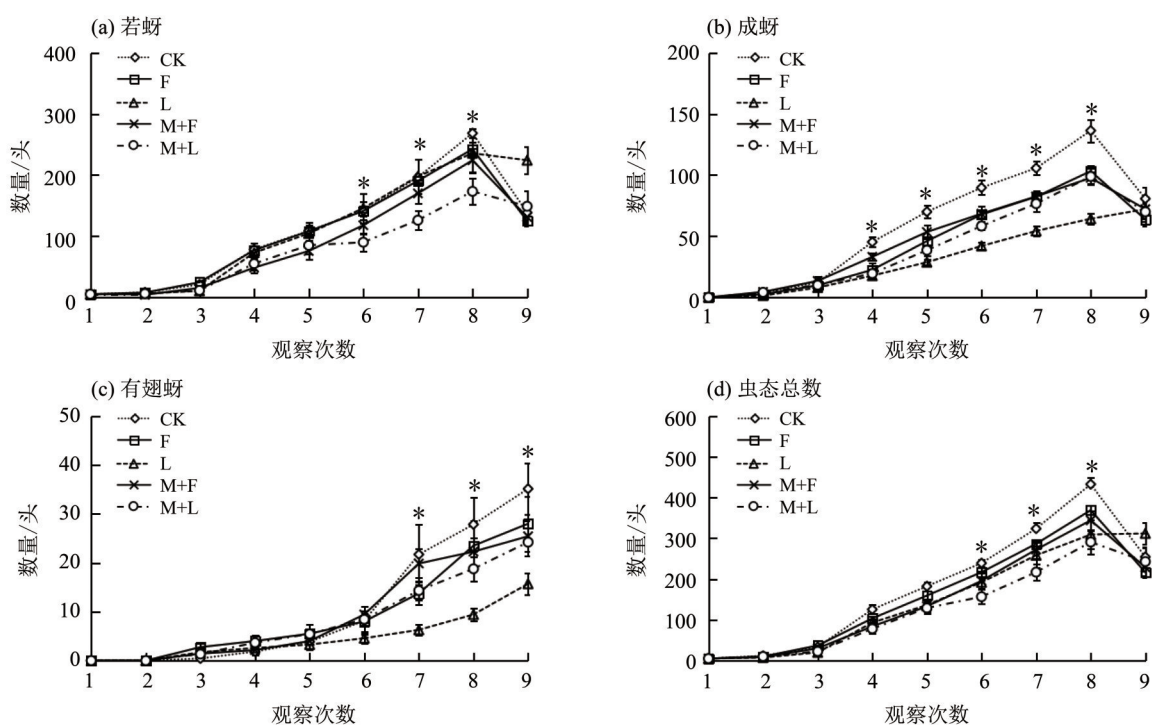
($P = 0.005$, $P = 0.002$), 分别低约35.8%、35.5%。

不同处理成蚜数量在前期都处于较低水平(图7b); 除螺虫乙酯处理组外, 其他各处理在第8次观察时达到峰值; 在第4、5次观察时, 4个处理组成蚜数均显著低于对照组($P < 0.05$); 在后期第6、7、8次观察中, 螺虫乙酯组均显著低于螺虫乙酯复配液处理($P = 0.011$, $P = 0.005$, $P < 0.001$), 分别低约28.0%、29.2%、35.0%。

不同处理有翅蚜快速增长出现在观察期的中后期(图7c), 观测前期在各处理之间无显著差异($P > 0.05$)。在第7、8、9次观察时, 螺虫乙酯处

理组有翅蚜数均显著低于对照组($P = 0.003$, $P < 0.001$, $P < 0.001$), 分别低约71.1%、66.2%、55.3%。

图7d表示不同处理总蚜数的变化。在第8次观察时, 各处理总蚜数达到了峰值; 在第6、7、8次观察时, 螺虫乙酯复配液处理组桃蚜总数均显著低于对照组($P = 0.002$, $P < 0.001$, $P < 0.001$), 分别低约34.5%、33.0%和32.8%; 螺虫乙酯组, 呋虫胺复配液组在第8次观察中也显著低于对照组($P = 0.003$, $P = 0.029$), 分别低约28.5%和20.5%。



CK: 清水对照; F: 呋虫胺; L: 螺虫乙酯; M+F: 木醋液和呋虫胺复配; M+L: 木醋液和螺虫乙酯复配; 图中不同字母表示在Duncan氏新复极差法检验中存在0.05水平上的不同显著差异; 每3d观察一次。

图7 不同处理对桃蚜种群动态的影响

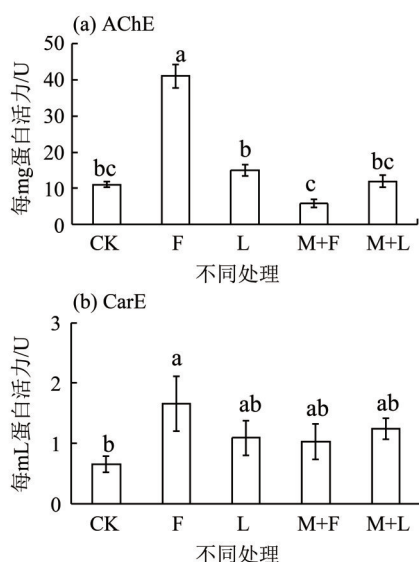
Fig. 7 Effects of different treatments on the population dynamics of *Myzus persicae*

2.4.5 木醋液与呋虫胺、螺虫乙酯复配对桃蚜种群解毒酶活性的影响 呋虫胺处理后桃蚜种群AChE活性显著升高($P < 0.001$), 高约272%。呋虫胺复配液处理组桃蚜显著低于呋虫胺组($P < 0.001$), 低约86.0% (图8a)。呋虫胺处理组桃蚜CarE活性显著高于清水对照组($P = 0.027$), 高约153.9%。其它各组之间无显著差异($P > 0.05$) (图8b)。呋虫胺施用后, AChE活性显著增加, 再加入木醋液酶活恢复到清水对照的水平(图8a)。

3 讨论

有研究表明松木屑木醋液对舞毒蛾有着较好的毒杀作用(冯晨等, 2016)。本研究发现木醋液对桃蚜无急性毒杀效果, 但仍然可以考虑作为增效剂来防治桃蚜, 因为大多数增效剂都没有杀虫作用(汤秋玲等, 2016)。

呋虫胺对刺吸式口器害虫有着很好的防效, 呋虫胺可溶粒剂稀对防治Q型烟粉虱的效果好, 药效期久, 且对甜瓜幼苗安全(何振华等, 2022)。呋虫胺水分散粒剂对水稻褐飞虱的防效较佳, 且



CK: 清水对照; F: 呋虫胺; L: 螺虫乙酯; M+F: 木醋液和呋虫胺复配; M+L: 木醋液和螺虫乙酯复配;

图中不同字母表示在 Duncan 氏新复极差法检验中存在 0.05 水平上的不同显著差异。

图 8 不同处理作用下桃蚜种群体内的 AChE 和 CarE 活性

Fig. 8 AChE and CarE activity within the *Myzus persicae* population under different treatment effects

对水稻是无害的(诸彩霞等,2022)。本文发现 $w=20\%$ 呋虫胺可溶粒剂对桃蚜的室内毒力较强,且随着作用时间延长,毒力增强。螺虫乙酯同呋虫胺类似,对刺吸式口器害虫有着很好的防效,螺虫乙酯悬浮剂对烟粉虱有着很好的防效,且持续性久(谢文等,2011;宫亚军等,2012);螺虫乙酯 SC 对甘蔗绵蚜虫效性差,但持效性较好(许焕明,2012);研究发现,螺虫乙酯对苹果黄蚜的防效在药后 30 天达到了 100%(康总江等,2013);本研究发现,螺虫乙酯对桃蚜有着显著的毒杀作用,且随着试验时间延长,毒力增强。

解毒酶抑制剂 PBO、DEM、TPP 是近年来常用的增效剂,增效剂通过抑制害虫解毒酶活性而增强药效(尚娇等,2020)。本研究发现,稀释 100 倍的木醋液显著降低桃蚜体内 AChE 和 CarE 活性,分别降低约 32.1% 和 58%。通过抑制解毒酶活性,

增加药剂毒杀效果,具有增效作用,这与于慧龄等(2021)、王欣宇等(2022)的研究结果一致。出现 2.5、10 mL/L 木醋液显著降低桃蚜 GST 酶活而 5、20 mL/L 木醋液对 GST 酶活没有影响这个结果,据此推测木醋液对 GST 活性影响不稳定,或者木醋液并不能真正影响此酶的活性水平,在后续检测中选择了表现稳定的两种抗逆酶检测活性。有研究发现,木醋液与农药混合施用,可提高防治虫害效果(孙剑华等,2008)。添加了木醋液的苦参碱对葱蓟马的毒杀、驱避均具有增效作用(韩亚静,2022)。本研究发现,木醋液增强呋虫胺、螺虫乙酯对桃蚜的毒杀作用,5 mL/L 木醋液对呋虫胺防治桃蚜有着最大的增效作用,增效比达到了 25.9。20 mL/L 的木醋液对螺虫乙酯防治桃蚜有着最大的增效作用,增效比达到了 20.3。

适当的 φ (木醋液)分别与呋虫胺、螺虫乙酯复配后,可以增强单剂防治桃蚜的效果。一方面可能因为木醋液可以抑制桃蚜体内的解毒酶活性,降低了桃蚜对两种药剂的抗性。还有可能木醋液与两种药剂复配后,降低了药剂与桃蚜的接触角,提升了黏附性,使药效最大化发挥作用(胡月等,2019)。整体来看,稀释 200 倍的木醋液增效效果最佳。

20 mL/L 木醋液与螺虫乙酯复配时抑制了小白菜植株株高、叶面积以及地上部分生物量。推测为高体积分数木醋液降低根系活力,同时减少植株叶片叶绿素含量,影响植株的光合速率,从而影响植株生物量的积累(李宁等,2023)。螺虫乙酯施用组,地下部分含水量显著上升;进而加了木醋液,含水量恢复清水对照组水平。呋虫胺和螺虫乙酯分别施用后,叶绿素含量显著增加;分别再加入木醋液,叶绿素含量恢复到清水对照的水平或者有显著回落。木醋液抑制桃蚜体内解毒酶活性,同时降低桃蚜种群的增殖力,减弱了桃蚜对药剂的抗性,从而利于两种药剂的发挥药效。综上,木醋液可作为一种绿色增效剂来延缓增强桃蚜对螺虫乙酯和呋虫胺的抗药性的防治效果。

参考文献:

冯晨,王海英,刘志明,等,2016. 松木屑木醋液对舞毒蛾幼虫的毒杀活性[J]. 西南农业学报,29(11):2604-2608.
宫亚军,王泽华,康总江,等,2012. 新型双向传导杀虫剂—螺虫乙酯对 Q 型烟粉虱的防治效果[J]. 植物保护,38(6):157-160.

郭天凤,史雪岩,高希武,等,2014. 棉蚜吡虫啉、啶虫脒不同品系解毒酶活性测定和增效剂作用的研究[J]. 环境昆虫学报,36(3):388-394.

韩亚静,2022. 生物制剂对“葱蓟马-黄瓜”的影响[D]. 哈尔滨:黑龙江大学.

- 何振华,许佩,刘阳华,2022. 7种药剂对Q型烟粉虱的田间防效试验[J].上海蔬菜,184(3):40-41+53.
- 胡小凤,李卓,梁春莉,2019. 木醋液应用研究进展[J].辽宁农业职业技术学院学报,21(5):1-3.
- 胡月,田立超,2019. 竹醋对两种内吸性药剂的增效作用研究[J].绿色科技,7(13):124-125.
- 黄群义,2022. 生物制剂对“朱砂叶螨-大豆”的影响[D].哈尔滨:黑龙江大学.
- 康总江,宫亚军,石宝才,2013. 22.4%螺虫乙酯悬浮剂防治苹果黄蚜田间药效研究[J].北方园艺,292(13):157-158.
- 李凌云,王洪涛,曲恒华,等,2022. 2种新型杀虫剂对桃蚜的田间防效评价[J].中国果树,224(6):64-65+78.
- 李宁,李欣然,郭雪涛,等,2023. 喷施不同浓度木醋液对草莓生长的影响[J].现代农业科技,837(7):47-51+59.
- 刘琦,2022. 三种桦木树中白桦脂醇提取剩余物中木醋液成分分析及其应用[D].哈尔滨:东北林业大学.
- 卢辛成,蒋剑春,孙康,等,2017. 木醋液的制备、精制与应用研究进展[J].林产化学与工业,37(3):21-30.
- 潘琴,江洁,许英梅,等,2020. 木醋液的制备及其应用研究进展[J].大连民族大学学报,22(1):9-15.
- 钱慧娟,1994. 木醋液的制造及其应用[J].世界林业研究,11(2):59-63.
- 乔宪凤,张晓赫,彭雄,等,2023. CSP介导的害虫抗药性新机制研究进展[J].环境昆虫学报,45(2):360-366.
- 曲春鹤,王彭,2017. 氟啶虫胺腈对桃蚜的室内杀虫活性及田间防治效果[J].农药,56(3):216-218.
- 尚娇,苏悦,姚永生,等,2020. 棉蚜和棉长管蚜增效剂作用及解毒酶活性测定[J].农药,59(11):838-841+845.
- 孙剑华,沈晓昆,陈永宁,2008. 竹(木)醋液与不同农药混配在蔬菜病虫害防治中的应用[J].长江蔬菜,216(6):87-89.
- 汤秋玲,马康生,高希武,2016. 蔬菜蚜虫抗药性现状及抗性治理策略[J].植物保护,42(6):11-20.
- 王欣宇,韩亚静,历佳月,等,2022. 两种叶面肥对桃蚜“绿色防控”绿色防控的影响[J].中山大学学报(自然科学版)(中英文),61(6):60-68.
- 吴春来,胡月,田立超,等,2018. 竹醋对噻虫嗪防治紫薇长斑蚜的增效作用研究[J].绿色科技,9(19):14-15+17.
- 谢文,吴青君,徐宝云,等,2011. 螺虫乙酯对烟粉虱的防治效果评价[J].中国蔬菜,241(14):69-73.
- 许焕明,2012. 240g/L螺虫乙酯悬浮剂防治甘蔗绵蚜虫田间药效试验[J].广西植保,25(2):5-7.
- 于慧龄,叶乐夫,王雪,等,2021. 木醋液对桃蚜生长繁殖的急慢性效应[J].中国农学通报,37(18):147-152.
- 张谦,王燕,黄山松,等,2021. 增效剂对常用烟碱类杀虫剂防治棉蚜的减量增效作用[J].新疆农业科学,58(8):1435-1440.
- 张庆宽,2009. 双向内吸性新杀虫剂螺虫乙酯的开发[J].农药,48(6):445-447.
- 诸彩霞,姜佳燕,2022. 呋虫胺水分散粒剂对水稻褐飞虱的田间防效及安全性评价[J].南方农业,16(16):13-15.
- BLACKMAN R L, EASTOP V F, 2001. Aphids on the world's crops: an identification and information guide [J]. Orient Insects, 35(1): 104.
- CHEN A Q, ZHANG H H, SHAN T S, et al, 2020. The overexpression of three cytochrome P450 genes *CYP6CY14*, *CYP6CY22* and *CYP6UNI* contributed to metabolic resistance to dinotefuran in melon/cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 167(7): 104601.
- DEMAEGHT P, DERMAUW W, TSAKIRELI D, et al, 2013. Molecular analysis of resistance to acaricidal spirocyclic tetrone acids in *Tetranychus urticae*: *CYP392E10* metabolizes spiroadiclofen, but not its corresponding enol [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 43(6): 544-554.
- GREWAL A, ABBEY L, GUNUPURU L R, 2018. Production, prospects and potential application of pyrolytic acid in agriculture [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 135(9): 152-159.
- HO C W, LAZIM A M, FAZRY S, et al, 2017. Varieties, production, composition and health benefits of vinegars: A review [J]. Food Chemistry, 221(10): 1621-1630.
- LU X, JIANG J, HE J, et al, 2019. Effect of pyrolysis temperature on the characteristics of wood vinegar derived from Chinese fir waste: A comprehensive study on its growth regulation performance and mechanism [J]. ACS Omega, 4(21): 19054-19062.
- MORI K, OKUMOTO T, KAWAHARA N, et al, 2002. Interaction of dinotefuran and its analogues with nicotinic acetylcholine receptors of cockroach nerve cords [J]. Pest Management Science, 58(2): 190-196.
- MUN S P, KU C S, 2010. Pyrolysis GC-MS analysis of tars formed during the aging of wood and bamboo crude vinegars [J]. Journal of Wood Science, 56(1): 47-52.
- WEBER G, 1985. Genetic variability in host plant adaptation of the green peach aphid, *Myzus persicae* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 38(1): 49-56.