

香茅精油微乳液对朱砂叶螨的生物活性及其解毒酶系活性的影响

程作慧^{1*} 樊芳芳¹ 王旗¹ 刘庆¹ 张鹏¹ 李锐² 李生才^{2*}

(1. 山西农业大学基础部, 太谷 030801; 2. 山西农业大学农学院, 太谷 030801)

摘要: 为明确香茅精油微乳液对朱砂叶螨的生物活性及其解毒酶系活性的影响, 采用熏蒸法测定香茅精油微乳液对朱砂叶螨的熏蒸活性及香茅精油微乳液亚致死剂量处理下朱砂叶螨的产卵情况、趋避情况及解毒酶系活性。结果表明, 当剂量达到 2.5 μL 时, 香茅精油微乳液处理下朱砂叶螨的死亡率达到 80.37% 以上; 香茅精油微乳液熏蒸 24 h 时, 其对朱砂叶螨的亚致死剂量 LD_{10} 和 LD_{30} 分别为 0.082 μL 和 0.284 μL ; 香茅精油微乳液 LD_{10} 和 LD_{30} 处理 24 h 时, 其对朱砂叶螨的产卵抑制率分别为 76.30% 和 78.67%, 对朱砂叶螨的趋避率分别为 80.00% 和 88.00%; 香茅精油微乳液 LD_{10} 和 LD_{30} 处理后, 朱砂叶螨体内酯酶活性在 0~8 h 表现出激活作用, 随后一直处于抑制状态, 谷胱甘肽-S-转移酶活性一直处于激活状态, 而多功能氧化酶活性处于抑制状态。表明香茅精油微乳液是一种很有前景的绿色杀螨剂。

关键词: 香茅精油; 微乳液; 朱砂叶螨; 熏蒸活性; 酶

Bioactivities of citronella oil microemulsion against *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae) and its effect on the detoxification enzyme activities

Cheng Zuohui^{1*} Fan Fangfang¹ Wang Qi¹ Liu Qing¹ Zhang Peng¹ Li Rui² Li Shengcai^{2*}

(1. College of Basic Department, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi Province, China;

2. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi Province, China)

Abstract: To clarify the bioactivities of citronella oil microemulsion against carmine spider mite *Tetranychus cinnabarinus* and its effect on the activity of detoxification enzymes, the fumigation activity of citronella oil microemulsion and the oviposition inhibitory activity, repellent activity and detoxification enzyme activity at the sublethal dosages of citronella oil microemulsion against *T. cinnabarinus* were determined using the fumigation method. The results showed that the mortality of *T. cinnabarinus* caused by citronella oil microemulsion reached more than 80.37% at the dosage of 2.5 μL . The sublethal dosages of LD_{10} and LD_{30} were 0.082 μL and 0.284 μL of citronella oil microemulsion by fumigating *T. cinnabarinus* for 24 h. By fumigating with citronella oil microemulsion at LD_{10} and LD_{30} for 24 h, the oviposition inhibition rates were 76.30% and 78.67%, and the repellency rates were 80.00% and 88.00%, respectively. The esterase activity was up-regulated in eight hours but then down-regulated; the glutathione-S-transferase activity was up-regulated but the mixed function oxidase activity was down-regulated when treated with citronella oil microemulsion at LD_{10} and LD_{30} . It indicated that citronella oil microemulsion was a promising green acaricide.

Key words: citronella oil; microemulsion; *Tetranychus cinnabarinus*; fumigation activity; enzyme

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 分布广泛并且可为害豆类、黄瓜、茄子、草莓和棉花等多种作物 (Sertkaya et al., 2010), 其个体小, 繁殖潜力高, 世代重叠, 是公认的难以防治的有害生物群落 (王海香, 2008)。长期以来化学农药在控制螨害方面起着重要作用, 然而长期大规模的不合理使用化学农药导致害螨产生抗药性, 大量天敌死亡, 大气和水源被污染, 自然生态平衡遭到破坏, 从而引起螨害的大规模暴发 (程作慧等, 2019), 并且致使农产品中大量农药残留。植物源杀螨剂具有对环境安全、残留少、选择性强、不杀伤天敌等优点, 克服了化学农药存在的弊端 (程作慧等, 2016)。

许多芳香植物含有杀螨抑菌的化合物, 并且植物精油具有高挥发、无残留的优点, 因此近年来越来越受到青睐 (程作慧等, 2016), 如 Topuz et al. (2012) 研究结果显示浓度为 4 $\mu\text{L/L}$ 的薄荷 *Mentha pulegium* 精油对黄瓜苗上朱砂叶螨有良好的熏蒸毒性; 程作慧等 (2016) 研究发现迷迭香 *Rosmarinus officinalis* 精油对朱砂叶螨的触杀活性高于花椒 *Zanthoxylum bungeanum* 精油, 两者熏蒸处理雌成螨 24 h 的亚致死浓度 LC_{30} 分别为 6.731 $\mu\text{L/L}$ 和 120.142 $\mu\text{L/L}$; Cheng et al. (2020a) 研究结果显示藿香 *Agastache rugosa* 精油对朱砂叶螨的熏蒸作用强于艾蒿 *Artemisia levl* 精油, 藿香精油熏蒸处理朱砂叶螨 24 h 后, 亚致死剂量 LD_{50} 为 0.179 μL 。此外, 植物精油对有害生物有高度特异性、安全性, 不易产生耐药性, 对环境污染小, 是理想的无公害农药 (Severino et al., 2014), 然而植物精油易挥发、光解和氧化, 在环境中保留时间太短, 降解速度太快, 溶解性较差, 因此很少直接提取利用。香茅 *Herba cymbopogonis* 精油能显著影响玉米象 *Sitophilus zeamais*、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* (肖洪美和屠康, 2008) 和橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (胡黎明等, 2012) 的行为和生理, 对黄瓜腐霉 *Pythium aphanidermatum* (林霜霜等, 2017) 有较好的抑菌效果。本课题组充分利用香茅精油良好的生物活性, 通过混合表面活性剂将香茅精油溶于水, 制备了香茅精油微乳液并评估了其对于植物枯萎病菌的功效益 (程作慧等, 2019), 而未明确其对螨类的杀虫效果。螨类抗药性的形成与其体内多功能氧化酶 (mixed function oxidase, MFO)、谷胱甘肽-S-转移酶 (glutathione-S-transferase, GST) 及酯酶 (esterase, EST) 等各种解毒酶系的活性变化密切相关 (何林等, 2003)。大多数药剂通过诱导解毒酶系活性提高其解毒代谢能力, 如王小强和刘长仲

(2014) 研究发现阿维菌素亚致死浓度 LC_5 、 LC_{10} 和 LC_{20} 对红色型和绿色型豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* 体内 GST 和 MFO 的活性有诱导作用; 也有一些杀虫剂通过抑制解毒酶活性来达到杀虫效果, 如吴刚等 (2002) 研究发现甲胺磷可显著抑制绒茧蜂 *Cotesia plutellae* 体内乙酰胆碱酯酶、羧酸酯酶和 GST 的活性。因此通过测定解毒酶等生化指标可预测有害生物产生抗药性的程度 (田雪莲等, 2016)。

为更好地开发香茅精油微乳液, 本研究系统测定香茅精油微乳液对朱砂叶螨的熏蒸活性及亚致死剂量处理下香茅精油微乳液对朱砂叶螨的产卵抑制活性、趋避活性及其对解毒酶系活性的影响, 以期将其开发为绿色杀螨剂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试螨和植物: 朱砂叶螨自山西农业大学实验田内豇豆 *Vigna unguiculata* 苗上采集, 在温度 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 60%~80%、光周期 16 L:8 D 人工气候箱中饲养, 用盆栽豇豆苗饲养数代后, 挑取 5 日龄雌成螨进行试验。豇豆种子购于太谷县大仓粮油经销部, 于山西农业大学实验田内种植培养, 待其长至 6 片真叶时供试。

药剂制备: 香茅叶于 2020 年 10 月购于山西省太谷县药材公司, 在实验室内经蒸馏获得香茅精油, 将混合表面活性剂、蒸馏水和香茅精油按照 7:1:2 的体积比配制成香茅精油微乳液样品 (程作慧等, 2019), 冷藏备用。

水琼脂培养基: 将 13.3 g 琼脂粉加入到 1 L 蒸馏水中加热至沸腾, 趁热将其倒入直径 9 cm、高 2 cm 的培养皿中, 每皿约 15 mL, 冷却, 凝固。

试剂和仪器: α -醋酸萘酯, 广州伟伯科技有限公司; 固兰 B 盐, 上海源叶生物科技有限公司; 1-氯-2, 4-二硝基苯, 湖北中隆康盛精细化工有限公司; 谷胱甘肽, 美国 Amresco 公司; 对硝基苯甲醚, 上海金穗生物科技有限公司。SMZ61 型体视显微镜, 北京立奥光学仪器有限公司; DNM-9602 型酶标仪, 上海巴玖实业有限公司。

1.2 方法

1.2.1 香茅精油微乳液对朱砂叶螨的熏蒸活性

待豇豆苗长至 6 片真叶时, 采集新鲜叶片, 叶面朝下, 铺展于水琼脂培养基上, 每皿放 1 片新鲜叶片; 挑取活泼、色泽艳丽的朱砂叶螨 5 日龄雌成螨 30 头置于每片叶背上; 将长 3 cm、宽 1 cm 的滤纸条中间

拱起贴在皿盖内,滤纸条与皿盖之间留有空隙;分别取0.156、0.312、0.625、1.250和2.500 μL 香茅精油微乳液滴至滤纸条上,迅速用封口膜密封后倒置于温度 $(25\pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度60%~80%、光周期16 L:8 D的人工气候箱中,每个剂量重复3次,分别于处理后12、24和48 h在体视显微镜下观察朱砂叶螨的死亡情况,轻轻触碰螨体,以肢体不动为死亡判断标准,计算死亡率并进行毒力回归方程分析。根据毒力回归方程通过Probit法计算亚致死剂量 LD_{10} 、 LD_{30} 和半致死剂量 LD_{50} 及其95%置信限。

1.2.2 香茅精油微乳液对朱砂叶螨的产卵抑制活性

取香茅精油微乳液亚致死剂量 LD_{10} 和 LD_{30} 对朱砂叶螨5日龄雌成螨进行处理,方法同1.2.1,每个剂量处理30头,分别于处理后3、6、12和24 h观察朱砂叶螨的产卵情况,计算产卵抑制率,产卵抑制率=(对照区产卵数-用药区产卵数)/对照区产卵数 $\times 100\%$ (Tripathi & Upadhyay, 2009)。

1.2.3 香茅精油微乳液对朱砂叶螨的趋避活性

将直径为3 cm的圆形滤纸沿中线剪成2个半圆,其中1个半圆分别滴加香茅精油微乳液亚致死剂量 LD_{10} 和 LD_{30} ,另一个半圆为空白对照。用透明胶布将处理后的2个半圆重新粘在一起,使用双面胶带将其粘在直径9 cm、高2 cm的培养皿底部。将100头饥饿处理4 h的朱砂叶螨5日龄雌成螨转移到2个半圆的中线处,圆形滤纸周围用凡士林包围,防止朱砂叶螨逃逸。分别于处理后3、6、12和24 h清点两边滤纸上朱砂叶螨数量,每个处理重复5次。

1.2.4 香茅精油微乳液对朱砂叶螨酶活性的影响测定

按照1.2.1方法用香茅精油微乳液亚致死剂量 LD_{10} 和 LD_{30} 以及空白对照处理朱砂叶螨5日龄雌成螨,于处理后3、6、12和24 h分别挑取雌成螨300头,加入pH 7.0、浓度为0.04 mol/L的1 500 μL 磷酸盐缓冲液进行冰水浴研磨,于 4°C 、10 000 r/min转速下离心15 min,取上清液得到酶液,并在 -20°C 冰箱中

存储备用。每个处理重复3次。

依据酯酶催化 α -乙酸萘酯水解生成 α -萘酚原理测定EST活性(van Asperen, 1962);参照Clark et al.(1984)方法测定GST活性;参照Kim et al.(2007)方法测定MFO活性,3种酶的酶活力单位均为 $\mu\text{mol}\cdot\mu\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (汝阳等, 2017; 尚素琴和薛玉丽, 2019; 常芸等, 2020)。

1.3 数据分析

采用SPSS 17.0软件的Probit法进行毒力回归分析,应用Tukey法、 t 检验法和 χ^2 法对试验数据进行差异显著性检验(姜莉莉等, 2012)。

2 结果与分析

2.1 香茅精油微乳液对朱砂叶螨的熏蒸活性

不同剂量香茅精油微乳液在相同熏蒸时间下,朱砂叶螨死亡率之间均差异显著($P<0.05$)。当剂量为0.156 μL 和0.312 μL 的香茅精油微乳液熏蒸12 h后,朱砂叶螨死亡率分别为12.60%和21.85%,与处理24 h和48 h时朱砂叶螨死亡率之间差异显著($P<0.05$);当剂量为0.625 μL 时,熏蒸48 h后朱砂叶螨死亡率达到55.93%,与处理12 h和24 h时朱砂叶螨死亡率之间差异显著($P<0.05$);当剂量为1.250 μL 时,熏蒸12、24和48 h后朱砂叶螨死亡率分别为67.78%、64.44%和67.78%,三者之间差异不显著;当剂量为2.5 μL 时,熏蒸12、24和48 h后朱砂叶螨死亡率分别为80.37%、80.37%和84.07%,三者之间差异不显著(表1)。

熏蒸12、24和48 h后,香茅精油微乳液对朱砂叶螨毒力回归方程的斜率分别为1.753、1.401和1.490,说明在熏蒸12 h时朱砂叶螨对香茅精油微乳液最敏感;香茅精油微乳液熏蒸处理24 h时, LD_{10} 和 LD_{30} 分别为0.082 μL 和0.284 μL ,且均随熏蒸时间的延长而逐渐减小;香茅精油微乳液熏蒸12、24和48 h时 LD_{50} 分别为0.737、0.671和0.557 μL (表2)。

表1 香茅精油微乳液不同处理时间下朱砂叶螨的死亡率

Table 1 Mortalities of *Tetranychus cinnabarinus* caused by citronella oil microemulsion under different treatment durations

熏蒸时间 Fumigation duration/h	不同剂量下的死亡率 Mortality at different dosages/%				
	0.156 μL	0.312 μL	0.625 μL	1.250 μL	2.500 μL
12	12.60 $\pm$ 0.98 Be	21.85 $\pm$ 1.96 Bd	48.15 $\pm$ 1.34 Bc	67.78 $\pm$ 1.92 Ab	80.37 $\pm$ 1.61 Aa
24	18.15 $\pm$ 1.96 Ae	32.60 $\pm$ 2.06 Ad	50.74 $\pm$ 1.34 Bc	64.44 $\pm$ 1.92 Ab	80.37 $\pm$ 2.43 Aa
48	21.11 $\pm$ 1.28 Ae	33.33 $\pm$ 1.70 Ad	55.93 $\pm$ 1.61 Ac	67.78 $\pm$ 1.92 Ab	84.07 $\pm$ 1.34 Aa

表中数据为平均数 $\pm$ 标准误。不同大写字母和不同小写字母分别表示同剂量不同时间处理之间和同时间不同剂量处理之间经Tukey法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean $\pm$ SE. Different uppercase letters at the same dosage with different durations and different lowercase letters at the same duration with different dosages indicate significant difference by Tukey test ($P<0.05$).

表2 香茅精油微乳液在不同处理时间下对朱砂叶螨的熏蒸活性

Table 2 Fumigation activity of citronella oil microemulsion against *Tetranychus cinnabarinus* under different treatment durations

熏蒸时间 Fumigation duration/h	斜率 Slope	LD ₁₀ (95% CL)/μL	LD ₃₀ (95% CL)/μL	LD ₅₀ (95% CL)/μL	χ ²
12	1.753±0.232	0.137(0.111–0.164)	0.370(0.327–0.413)	0.737(0.669–0.814)	4.556
24	1.401±0.243	0.082(0.059–0.105)	0.284(0.239–0.327)	0.671(0.597–0.756)	3.040
48	1.490±0.378	0.077(0.057–0.098)	0.248(0.209–0.286)	0.557(0.497–0.622)	2.189

表中数据为平均数±标准误。Data are mean±SE.

2.2 香茅精油微乳液对朱砂叶螨的产卵抑制活性

随着时间延长,香茅精油微乳液对朱砂叶螨的产卵抑制率显著增加($P<0.05$)。当香茅精油微乳液LD₁₀和LD₃₀处理3 h时,对朱砂叶螨的产卵抑制率分别为8.22%和14.33%,当处理时间为24 h时,对朱砂叶螨的产卵抑制率达到了76.30%和78.67%,分别为3 h时相应浓度处理的9.28倍和5.49倍;相同处理时间下2个亚致死剂量处理之间均差异不显著(图1)。

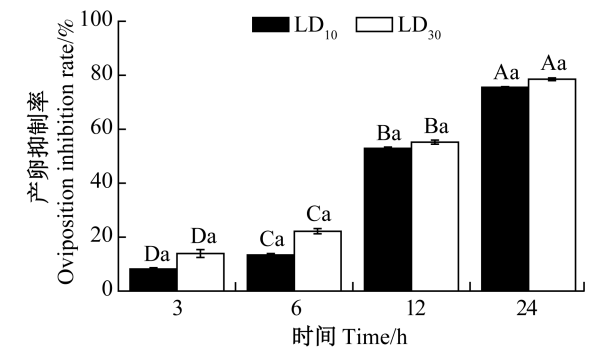


图1 香茅精油微乳液在不同处理时间下对朱砂叶螨的产卵抑制率

Fig. 1 Oviposition inhibition rates of citronella oil microemulsion against *Tetranychus cinnabarinus* under different treatment durations

图中数据为平均数±标准误。不同大写字母表示同处理不同时间之间经 Tukey 法检验差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示同时间不同处理之间经 t 检验法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different uppercase letters in the same treatment with different durations indicate significant difference by Tukey test ($P<0.05$), and different lowercase letters in the different treatments with the same duration indicate significant difference by t test ($P<0.05$).

2.3 香茅精油微乳液对朱砂叶螨的趋避活性

香茅精油微乳液对朱砂叶螨的趋避活性具有时间效应和剂量效应。香茅精油微乳液LD₁₀和LD₃₀处理3 h时,对朱砂叶螨的趋避率分别为51.00%和52.00%,大于6 h时的;处理24 h时,对朱砂叶螨的趋避率分别达到80.00%和88.00%,均显著高于对照($P<0.05$,图2)。

2.4 香茅精油微乳液对朱砂叶螨解毒酶活性的影响

2.4.1 对朱砂叶螨EST活性的影响

香茅精油微乳液处理后,朱砂叶螨体内EST活性在0~8 h出现激活状态,随后一直处于抑制状态。香茅精油微乳液LD₁₀处理4~8 h时,朱砂叶螨体内EST活性呈现降低趋势,8 h时活性虽比4 h降低6.00%,但仍显著高于对照($P<0.05$),是对照的1.09倍;处理12 h时活性虽然达到峰值0.013 μmol·μg⁻¹·min⁻¹,但仍比对照显著下降8.00%($P<0.05$);随后持续下降,处理24 h时活性比对照显著降低28.28%($P<0.05$,图3-A);香茅精油微乳液LD₃₀处理4~8 h时,朱砂叶螨体内EST活性保持平缓,8 h后加速下降,12 h时EST活性比对照显著下降27.20%($P<0.05$),随后略微升高,16 h后持续下降,24 h降至最低值,为0.008 μmol·μg⁻¹·min⁻¹,其活性比对照显著下降21.21%($P<0.05$,图3-A)。

2.4.2 对朱砂叶螨GST活性的影响

香茅精油微乳液处理后,朱砂叶螨体内GST活性均处于激活状态。香茅精油微乳液LD₁₀和LD₃₀处理后,朱砂叶螨体内GST活性均显著高于对照($P<0.05$);LD₁₀处理4~8 h时,GST活性有所上升,处理8~12 h时GST活性呈现下降趋势,处理12~20 h时GST活性大幅上升,处理20 h时达到峰值,为0.018 μmol·μg⁻¹·min⁻¹,是对照的12.57倍,随后虽然迅速下降,但处理24 h时活性仍为对照的10.58倍,且与对照差异显著($P<0.05$);LD₃₀处理4~16 h时,GST活性持续上升,处理16 h时达到峰值,为0.017 μmol·μg⁻¹·min⁻¹,是对照的10.44倍,随后虽然迅速下降,但处理24 h时活性仍为对照的9.25倍,且与对照差异显著($P<0.05$,图3-B)。

2.4.3 对朱砂叶螨MFO活性的影响

香茅精油微乳液处理后,朱砂叶螨体内MFO活性均处于抑制状态。香茅精油微乳液LD₁₀和LD₃₀处理后,朱砂叶螨体内MFO活性均显著低于对照($P<0.05$),且变化趋势均较平缓,在处理24 h时均降到最低,分别为0.159、0.165 μmol·μg⁻¹·min⁻¹,分别比对照显著降低了22.43%和19.51%($P<0.05$,图3-C)。

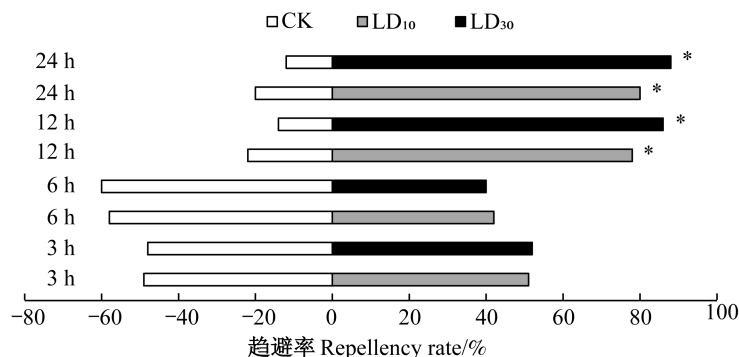


图2 香茅精油微乳液在不同处理时间下对朱砂叶螨的趋避率

Fig. 2 Repellency rates of citronella oil microemulsion against *Tetranychus cinnabarinus* under different treatment durations

图中数据为平均数±标准误。*表示处理与对照之间经 *t* 检验法检验差异显著 ($P < 0.05$)。Data are mean±SE. * indicates significant difference between the treatment and the control by *t* test ($P < 0.05$).

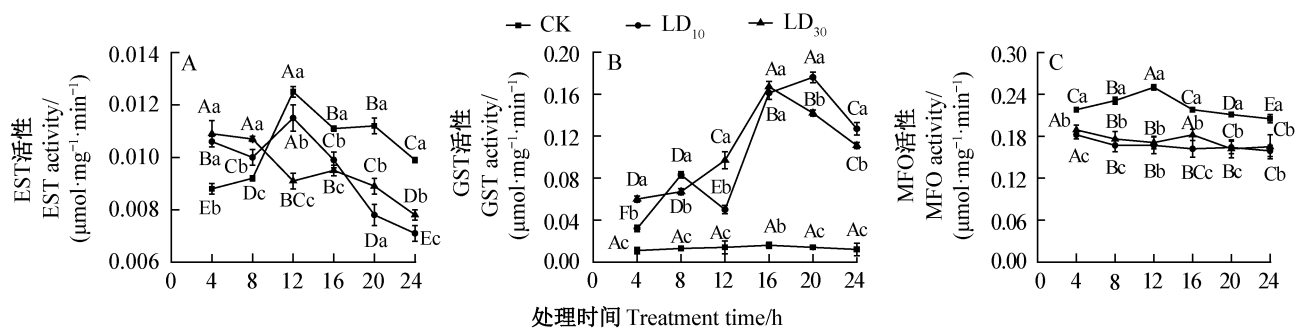


图3 不同处理时间下香茅精油微乳液对朱砂叶螨EST、GST和MFO活性的影响

Fig. 3 Effects of citronella oil microemulsion on EST, GST and MFO activities in *Tetranychus cinnabarinus* under different treatment durations

图中数据为平均数±标准误。不同大写字母和不同小写字母分别表示同处理不同时间之间和同时间不同处理之间经 Tukey 法检验差异显著 ($P < 0.05$)。Data are mean±SE. Different uppercase and lowercase letters indicate significant difference among different durations of same treatment and among different treatments with the same duration by Tukey test ($P < 0.05$).

3 讨论

在前期试验过程中发现,当香茅精油剂量大于 1.0 μL 时杀螨活性 24 h 可高达 100%,而当小于 0.6 μL 时杀螨活性突然消失(未发表数据),这可能是由于香茅精油挥发性极强,当剂量较小时,在试验过程中已经挥发掉了。为了克服香茅精油的高挥发性和溶解性较差的问题,本课题组制备了香茅精油微乳液。本研究结果表明香茅精油微乳液对朱砂叶螨具有良好的熏蒸活性。大部分植物精油微乳液对有害生物都具有触杀活性,如迷迭香精油微乳液对埃及伊蚊 *Aedes aegypti* 具有触杀活性 (Duarte et al., 2015),黄花蒿 *Artemisia annua* 提取物微乳液对朱砂叶螨具有触杀活性 (郭文明, 2009),姜黄 *Curcuma longa* 精油微乳液对朱砂叶螨具有良好的触杀活性 (Cheng et al., 2020b)。

本研究结果表明,香茅精油微乳液在亚致死剂

量处理下对朱砂叶螨有明显的产卵抑制活性和趋避活性。吴咚咚 (2009) 研究发现吡虫啉 LC₂₀ 和 LC₄₀ 处理对烟粉虱 *Bemisia tabaci* 也有一定的忌避作用,与本研究结果一致;辛天蓉等 (2019) 报道除虫脲 LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理朱砂叶螨后,其产卵量降低,产卵期显著缩短,与本研究结果一致。大多情况下,亚致死剂量药剂通过缩短产卵时间、降低繁殖力和降低卵孵化率对节肢动物产生破坏性影响 (Pan et al., 2014)。亚致死剂量药剂对有害生物种群往往具有抑制或延缓效应,与急性致死作用相比这种对有害生物系统慢性的亚致死作用为害更重。因此利用亚致死效应科学合理指导用药有利于害虫抗药性的治理 (段辛乐, 2011; 常芸, 2020)。

本研究结果显示香茅精油微乳液 LD₁₀ 和 LD₃₀ 处理后朱砂叶螨 EST 活性在 0~8 h 表现出激活作用,随后一直处于抑制状态,表明 EST 活性随着处理时间的延长逐渐受到抑制,导致其体内有毒物质

代谢困难,毒性增强;香茅精油微乳液亚致死剂量处理后,朱砂叶螨体内GST活性一直被诱导。何发林等(2019)采用LC₁₀、LC₂₅和LC₄₀溴氰虫酰胺处理小地老虎*Agrotis ipsilon*后其体内GST活性显著提高,与本研究结果一致;常芸(2020)用联苯肼酯亚致死浓度处理二斑叶螨*Tetranychus urticae*后GST活性被诱导,活性明显上升,与本研究结果一致。MFO是昆虫体内重要的解毒酶,王建军和田大军(2009)发现甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾*Spodoptera litura*体内MFO活性有诱导作用;廖月枝等(2012)报道甲氧虫酰肼对舞毒蛾*Lymantria dispar*体内MFO活性的诱导作用较强,处理60 h后其体内MFO活性才出现下降趋势。本研究发现香茅精油微乳液亚致死剂量处理后,朱砂叶螨体内MFO活性均处于抑制状态,充分证实了香茅精油微乳液不会对害螨产生抗性,是一种天然的绿色农药。

本研究于实验室内采用熏蒸法测定香茅精油微乳液对朱砂叶螨的熏蒸活性及香茅精油微乳液亚致死剂量下朱砂叶螨的产卵抑制活性、趋避活性及其对解毒酶系活性的影响。由于温室环境条件与实验室内存在差异,害螨接触药剂量及方式差异较大。因此,下一步要进行相关温室试验,便于更精确地评价香茅精油微乳液对朱砂叶螨的影响,以期将植物精油微乳液开发为绿色杀螨剂提供科学依据。

参 考 文 献 (References)

- Chang Y. 2020. The response and metabolic resistance of *Tetranychus urticae* to sublethal concentrations of bifentazate and B-azolemeiteacrylic. Master thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University (in Chinese) [常芸. 2020. 二斑叶螨对亚致死浓度联苯肼酯和乙唑螨腈的响应及代谢的初步研究. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学]
- Chang Y, Wang CQ, Shang SQ. 2020. Effects of sublethal concentration of bifentazate on the activities of detoxification enzymes against red spider mite *Tetranychus urticae*. Journal of Plant Protection, 47(5): 1146–1154 (in Chinese) [常芸, 王常清, 尚素琴. 2020. 联苯肼酯亚致死质量浓度对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 解毒酶系的影响. 植物保护学报, 47(5): 1146–1154]
- Cheng ZH, Duan HJ, Cui ZX, Xue YQ, Zhao JZ, Yu SY. 2019. Preparation and antibacterial activity of citronella oil micro-emulsion. Journal of Molecular Science, 35(4): 304–311 (in Chinese) [程作慧, 段慧娟, 崔子祥, 薛永强, 赵晋忠, 余少艳. 2019. 香茅精油微乳液的制备及其抑菌活性. 分子科学学报, 35(4): 304–311]
- Cheng ZH, Duan HJ, Zhu XR, Fan FF, Li R, Li SC, Ma XY, Zhang EJ, Liu YK, Wang JY. 2020a. Effects of patchouli and wormwood oils on the bioassays and behaviors of *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae). International Journal of Pest Management, 66(3): 271–278
- Cheng ZH, Fan FF, Zhao JZ, Li R, Li SC, Zhang EJ, Liu YK, Wang JY, Zhu XR, Tian YM. 2020b. Optimization of the microemulsion formulation of curcuma oil and evaluation of its acaricidal efficacy against *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae). Journal of Asia-Pacific Entomology, 23(4): 1014–1022
- Cheng ZH, Liu YH, Ma XY, Song BZ, Li R, Li SC. 2016. Bioactivities of rosemary and zanthoxylum oils against *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae). Acta Entomologica Sinica, 59(1): 47–54 (in Chinese) [程作慧, 刘耀华, 马新耀, 宋兵泽, 李锐, 李生才. 2016. 迷迭香油和花椒油对朱砂叶螨的生物活性. 昆虫学报, 59(1): 47–54]
- Clark AG, Dick GL, Smith JN. 1984. Kinetic studies on a glutathione S-transferase from the larvae of *Costelytra Zealandica*. The Biochemical Journal, 217(1): 51–58
- Duan XL. 2011. Study on resistance mechanisms of *Tetranychus urticae* Koch to fenpropathin and spiropdiclofen and sublethal effects of two acaricides. Master thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University (in Chinese) [段辛乐. 2011. 二斑叶螨对甲氧菊酯和螺螨酯的抗性机理及两种药剂的亚致死效应研究. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学]
- Duarte JL, Amado JRR, Oliveira AEMFM, Cruz RAS, Ferreira AM, Souto RNP, Falcão DQ, Carvalho JCT, Fernandes CP. 2015. Evaluation of larvicidal activity of a nanoemulsion of *Rosmarinus officinalis* essential oil. Revista Brasileira De Farmacognosia, 25(2): 189–192
- Guo WM. 2009. Study on the pesticide microemulsion of acetone extract from *Artemisia annua* L. and acaricidal activity evaluation. Master thesis. Chongqing: Southwest University (in Chinese) [郭文明. 2009. 黄花蒿提取物微乳剂的研制及其杀螨活性评价. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学]
- He FL, Jiang XY, Shang DL, Yao CT, Tan HL, Li XD, Zhang JW. 2019. Induction of the protective and detoxification enzymes by cyantraniliprole in *Agrotis ipsilon*. Plant Protection, 45(2): 90–96, 102 (in Chinese) [何发林, 姜兴印, 尚佃龙, 姚晨涛, 谭海丽, 李向东, 张吉旺. 2019. 溴氰虫酰胺胁迫对小地老虎保护酶和解毒酶活性的诱导效应. 植物保护, 45(2): 90–96, 102]
- He L, Tan SL, Cao XF, Zhao ZM, Deng XP, Wang JJ. 2003. Study on resistance selection and activity of detoxification enzyme in *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval). Chinese Journal of Pesticide Science, 5(4): 23–29 (in Chinese) [何林, 谭仕禄, 曹小芳, 赵志模, 邓新平, 王进军. 2003. 朱砂叶螨的抗药性选育及其解毒酶活性研究. 农药学报, 5(4): 23–29]
- Hu LM, Zeng L, Shen JM, Bin SY, Lu YY, Lin JT. 2012. Oviposition deterrent effects and chemical constituents of essential oils from *Cymbopogon nardus* on *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). Journal of Environmental Entomology, 34(2): 249–253 (in Chinese) [胡黎明, 曾玲, 申建梅, 宾淑英, 陆永跃, 林进添. 2012. 香茅精油对桔小实蝇产卵驱避作用及其化学成份分析. 环境昆虫学报, 34(2): 249–253]
- Jiang LL, Wang HY, Xia XM, Lin J, Wang KY. 2012. Physiological

- and biochemical characteristics of tebuconazole-resistant isolate of *Fusarium oxysporum* ZY-W. Chinese Journal of Pesticide Science, 14(1): 42–50 (in Chinese) [姜莉莉, 王红艳, 夏晓明, 林璵, 王开运. 2012. 草莓枯萎病菌抗戊唑醇突变体 ZY-W 的生理生化特性. 农药学报, 14(1): 42–50]
- Kim YJ, Lee SW, Cho JR, Park HM, Ahn YJ. 2007. Multiple resistance and biochemical mechanisms of dicofol resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). Journal of Asia-Pacific Entomology, 10(2): 165–170
- Liao YZ, Yan SC, Cao CW, Liu D. 2012. Effect of methoxyfenozide on activities of detoxifying enzymes and expression of proteins in *Lymantria dispar* larvae. Scientia Silvae Sinicae, 48(8): 99–105 (in Chinese) [廖月枝, 严善春, 曹传旺, 刘丹. 2012. 甲氧虫酰肼对舞毒蛾幼虫解毒酶及其体内蛋白质表达的影响. 林业科学, 48(8): 99–105]
- Lin SS, Qiu SL, Zheng KB, Liu HJ, Liu RZ, Ju YD. 2017. Composition analysis and antibacterial activity of the essential oil from *Cymbopogon citratus*. Journal of Agricultural Science and Technology, 19(10): 89–95 (in Chinese) [林霜霜, 邱珊莲, 郑开斌, 刘华建, 刘荣章, 鞠玉栋. 2017. 柠檬茅草精油的成分分析及抑菌作用研究. 中国农业科技导报, 19(10): 89–95]
- Pan HS, Liu YQ, Liu B, Lu YH, Xu XY, Qian XH, Wu KM, Desneux N. 2014. Lethal and sublethal effects of cycloxaprid, a novel *Cis*-nitromethylene neonicotinoid insecticide, on the mirid bug *Apolysus lucorum*. Journal of Pest Science, 87(4): 731–738
- Ru Y, Chen YN, Shang SQ, Zhang XH. 2017. Effect of sublethal dose of avermectin on the activities of detoxifying enzymes in *Tetranychus urticae*. Journal of Gansu Agricultural University, 52(1): 87–91, 96 (in Chinese) [汝阳, 陈耀年, 尚素琴, 张新虎. 2017. 阿维菌素亚致死剂量对二斑叶螨解毒酶系的影响. 甘肃农业大学学报, 52(1): 87–91, 96]
- Sertkaya E, Kaya K, Soylu S. 2010. Acaricidal activities of the essential oils from several medicinal plants against the carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus* Boisd.) (Acarina: Tetranychidae). Industrial Crops and Products, 31(1): 107–112
- Severino R, Vu KD, Donsi F, Salmieri S, Ferrari G, Lacroix M. 2014. Antibacterial and physical effects of modified chitosan based-coating containing nanoemulsion of mandarin essential oil and three non-thermal treatments against *Listeria innocua* in green beans. International Journal of Food Microbiology, 191: 82–88
- Shang SQ, Xue YL. 2019. Effect of sublethal concentrations of bifenthrin on detoxifying enzymes in *Tetranychus truncatus*. Chinese Journal of Applied Entomology, 56(4): 728–735 (in Chinese) [尚素琴, 薛玉丽. 2019. 亚致死质量浓度联苯肼酯对截形叶螨解毒酶系的影响. 应用昆虫学报, 56(4): 728–735]
- Tian XL, Yin XH, Long YH, Li M, Cai T, Li RY, Zhu LH. 2016. Effect of low dose spinetoram on detoxification enzymes in *Plutella xylostella*. Chinese Journal of Pesticide Science, 18(5): 589–595 (in Chinese) [田雪莲, 尹显慧, 龙友华, 李明, 蔡滔, 李荣玉, 朱流红. 2016. 低剂量乙基多杀菌素对小菜蛾解毒酶的影响. 农药学报, 18(5): 589–595]
- Topuz E, Madanlar N, Erler F. 2012. Evaluation of fumigant toxicity of *Mentha pulegium* essential oil against *Tetranychus cinnabarinus* under greenhouse conditions. Fresenius Environmental Bulletin, 21(9): 2739–2745
- Tripathi AK, Upadhyay S. 2009. Repellent and insecticidal activities of *Hyptis suaveolens* (Lamiaceae) leaf essential oil against four stored-grain coleopteran pests. International Journal of Tropical Insect Science, 29(4): 219–228
- van Asperen K. 1962. A study of housefly esterases by means of a sensitive colorimetric method. Journal of Insect Physiology, 8(4): 401–416
- Wang HX. 2008. Study of acaricidal compound occurring in green walnuts husks (*Juglans regia*) and their toxicity mechanism. Ph. D thesis. Taigu: Shanxi Agricultural University (in Chinese) [王海香. 2008. 核桃青皮杀螨活性物质及机理的研究. 博士学位论文. 太谷: 山西农业大学]
- Wang JJ, Tian DJ. 2009. Sublethal effects of methoxyfenozide on *Spodoptera litura* (Fabricius). Cotton Science, 21(3): 212–217 (in Chinese) [王建军, 田大军. 2009. 甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾亚致死效应研究. 棉花学报, 21(3): 212–217]
- Wang XQ, Liu CZ. 2014. Detoxification enzymes activities in two color morphs of pea aphid (*Acyrtosiphon pisum*) treated with different sub-lethal concentrations of avermectin. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 22(6): 675–681 (in Chinese) [王小强, 刘长仲. 2014. 阿维菌素亚致死剂量下 2 种色型豌豆蚜解毒酶活力的研究. 中国生态农业学报, 22(6): 675–681]
- Wu DD. 2009. Sublethal effects of imidacloprid on experiment population of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). Master thesis. Fuzhou: Fujian A&F University (in Chinese) [吴咚咚. 2009. 吡虫啉对烟粉虱实验种群的亚致死影响. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学]
- Wu G, You MS, Zhao SX, Zhou ZQ, Jiang SR. 2002. Monitoring of susceptibility to organophosphates and analysis of toxicological mechanism in *A. plutellae* Kurd. Journal of Plant Protection, 29(2): 168–172 (in Chinese) [吴刚, 尤民生, 赵士熙, 周志强, 江树人. 2002. 田间菜蛾绒茧蜂对有机磷敏感性监测及毒理机制分析. 植物保护学报, 29(2): 168–172]
- Xiao HM, Tu K. 2008. Effects of *Cymbopogon winterianus* oil on two stored grain insect adults. Grain Storage, 37(3): 8–11 (in Chinese) [肖洪美, 屠康. 2008. 香茅精油对两种主要储粮害虫的控制作用. 粮食储藏, 37(3): 8–11]
- Xin TR, Lian T, Li XE, Wang J, Zou ZW, Xia B. 2019. Sublethal effects of diflubenzuron on the growth and reproduction of an experimental population of *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae). Chinese Journal of Applied Entomology, 56(4): 736–743 (in Chinese) [辛天蓉, 练涛, 李雪儿, 王静, 邹志文, 夏斌. 2019. 亚致死浓度除虫脲对朱砂叶螨生长和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 56(4): 736–743]

(责任编辑:张俊芳)