

茉莉酸甲酯诱导红小豆对红叶螨的抗性

纪佳怡¹ 赵航¹ 姚明亿¹ 邱洋洋¹ 高玉刚¹ 金永玲^{1,2*}

(1. 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江省作物-有害生物互作生物学及生态防控重点实验室, 国家杂粮工程技术研究中心, 大庆 163319; 2. 农业农村部东北平原农业绿色低碳重点实验室, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 为探究茉莉酸甲酯对红小豆抗螨性的诱导作用, 以实验室前期筛选的红小豆感螨品种天津红和抗螨品种珍珠红为试验材料, 测定红叶螨 *Tetranychus pueraricola* 取食对红小豆叶片内茉莉酸含量的诱导效应及喷施外源茉莉酸甲酯后红叶螨的产卵量、取食量和种群数量, 并于田间测定茉莉酸甲酯对红叶螨的防效。结果显示: 红叶螨取食可以诱导红小豆叶片内茉莉酸含量增加, 最多较对照可增加 66.09%。喷施茉莉酸甲酯后红小豆抗螨品种上红叶螨的产卵量比感螨品种上的低, 但红小豆感螨品种上红叶螨的产卵量受茉莉酸甲酯诱导影响较大, 仅在喷施茉莉酸甲酯 1 d 后产卵量就较对照显著降低。室内喷施茉莉酸甲酯后, 红叶螨对红小豆的取食面积均较对照显著下降, 红小豆感螨品种和抗螨品种上红叶螨成螨数量均受到了不同程度的抑制。田间喷施茉莉酸甲酯后, 红小豆上红叶螨发生期延后。茉莉酸甲酯处理和茉莉酸甲酯+助剂处理 10~20 d 后, 红小豆上红叶螨种群数量均显著低于对照, 处理 15 d 和 20 d 后, 茉莉酸甲酯对红叶螨的防效分别为 92.91% 和 84.50%, 茉莉酸甲酯+助剂对红叶螨的防效分别为 98.08% 和 97.88%, 均显著高于茉莉酸甲酯单独施用。表明茉莉酸甲酯影响红叶螨的产卵、取食和繁殖行为, 可作为一种有效的田间预防性措施来控制红叶螨。

关键词: 红小豆; 红叶螨; 茉莉酸甲酯; 诱导防御; 取食; 产卵; 种群数量; 防效

Methyl jasmonate-induced resistance of adzuki bean to spider mite *Tetranychus pueraricola*

Ji Jiayi¹ Zhao Hang¹ Yao Mingyi¹ Qiu Yangyang¹ Gao Yugang¹ Jin Yongling^{1,2*}

(1. National Engineering Research Center for Coarse Cereals, Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Crop-Pest Interaction Biology and Ecological Control, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, Heilongjiang Province, China; 2. Key Laboratory of Green and Low-Carbon Agriculture in Northeast Plain, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Daqing 163319, Heilongjiang Province, China)

Abstract: To investigate the induction of mite resistance in adzuki bean by methyl jasmonate (MeJA), two cultivars previously screened in laboratory experiments, a mite-susceptible cultivar (Tianjin Red) and a mite-resistant (Pearl Red), were used as experimental materials. The induction effect of spider mite *Tetranychus pueraricola* feeding on jasmonic acid (JA) content in adzuki bean leaves was determined, along with the effects of exogenous MeJA application on oviposition, feeding area, and population size of *T. pueraricola* were assessed. Additionally, the field control efficacy of MeJA against *T. pueraricola* was evaluated. The results showed that feeding by *T. pueraricola* significantly increased the JA content in adzuki bean leaves, with a maximum increase of 66.09% compared with the control. After

基金项目: 东北地区食用豆生产技术集成与示范区建设(2020YFD1001402), 黑龙江八一农垦大学科研启动项目(XDB-2017-01), 黑龙江省杂粮产业技术协同创新推广体系(2042130014)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: gyjyl08@163.com

收稿日期: 2025-07-05

MeJA application, oviposition by *T. pueraricola* on the mite-resistant adzuki bean variety was lower than that on the susceptible variety. However, oviposition on the susceptible variety was more strongly affected by MeJA induction and was significantly reduced as early as 1 day after MeJA treatment compared with the control. Following MeJA spraying, the feeding area of *T. pueraricola* on adzuki bean leaves was significantly decreased relative to the control; adult mite populations on both susceptible and resistant adzuki bean varieties were suppressed to varying degrees. Field application of MeJA delayed the occurrence of *T. pueraricola* infestation on adzuki bean plants. At 10–20 days after treatment with MeJA or MeJA combined with an adjuvant, the population size of *T. pueraricola* on adzuki beans was significantly lower than that of the control. At 15 and 20 days after treatment, the control efficacies of MeJA against *T. pueraricola* reached 92.91% and 84.50%, respectively. In contrast, MeJA combined with an adjuvant achieved control efficacy of 98.08% and 97.88%, both significantly higher than those of MeJA alone. These results indicate that MeJA influences the oviposition, feeding, and reproductive behaviors of *T. pueraricola* and can effectively prevent infestations of this mite under field conditions.

Key words: adzuki bean; *Tetranychus pueraricola*; methyl jasmonate; induced defense; feeding; oviposition; population size; control efficacy

红小豆 *Vigna angularis* 属菜豆族虹豆属 *Vigna*, 是我国重要的杂豆作物, 广泛分布于黑龙江、辽宁、吉林、河北等省, 其种植面积和产量均居世界首位 (Zhao et al., 2024)。据统计, 2021 年我国红小豆种植面积达到 15.286 万 hm^2 , 产量达 21.61 万 t (Ashraf et al., 2020)。近些年病虫害加重, 严重影响其产量和品质, 主要害虫有豆蚜、叶螨等, 其中叶螨是黑龙江省西部半干旱区红小豆田的主要虫害之一 (金永玲等, 2024), 其优势种群为红叶螨 *Tetranychus pueraricola*。红叶螨属叶螨科叶螨属 *Tetranychus*, 是一种常见的植食性害虫, 其个体小, 生长周期短, 繁殖速度快, 具有较强的适应性和迁徙能力, 近年来已成为我国发生最严重的害螨之一。该害螨为害初期, 叶面上会出现褪绿的黄色小点, 为害后期可能会导致植株枯萎, 生长停滞, 从而严重影响红小豆的产量和品质; 该害螨个体小, 多聚集于叶片背面, 为害初期的症状不明显, 易被忽视, 经常出现“小虫成大灾”的现象 (Van Leeuwen et al., 2010; 靳鹏宇, 2019)。因此, 对其进行防控迫在眉睫。

目前, 叶螨的防控仍以化学手段为主, 然而大量、单一的使用杀螨剂不仅污染环境, 而且容易导致叶螨产生抗药性, 从而出现防效不佳、叶螨发生程度加重等负面影响 (金永玲等, 2024)。例如, 为害最严重的二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 的抗药性速度发展极快, 部分地区已经出现几乎对所有杀螨剂均产生抗性的品系, 已成为抗药性最强的害虫之一 (Van Leeuwen et al., 2010; 2013; 靳鹏宇, 2019)。因此, 迫切需要研发对环境友好的新型绿色防控技术。茉莉

酸甲酯 (methyl jasmonate, MeJA) 是诱导植物启动防御反应的信号分子, 由茉莉酸 (jasmonic acid, JA) 衍生而来, 具有强挥发性, 可从植物的气孔进入植物体内, 到达细胞质后被酯酶水解为茉莉酸, 从而启动植物防御反应 (Jiang & Yan, 2018; 焦龙等, 2018)。在植物表面喷施茉莉酸类化合物能诱发植物各种防御响应, 起到与害虫取食等外界胁迫相似的作用 (Jiang & Yan, 2018)。例如, 喷施 JA 或 MeJA 后感蚜绿豆 *Vigna radiata* 品种对豆蚜 *Aphis craccivora* 产生抗性 (周晶, 2022); 喷施 MeJA 可诱导蒙古扁桃 *Amygdalus mongolica* 产生明显的抗虫性 (方海涛, 2013); 喷施 JA 后菜豆 *Phaseolus vulgaris* 对美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* 的不选择性和抗生性增加 (田旭涛等, 2013); 喷施 JA 类物质能有效调节梨小食心虫 *Grapholita molesta* 的取食和产卵行为 (刘昌念等, 2025); 喷施 MeJA 能激活不同植物对二斑叶螨的防御反应 (Zhang et al., 2023)。值得注意的是, 茉莉酸甲酯对昆虫没有直接的防御效果, 而是通过诱导寄主植物产生多种化合物来间接提高其抗虫性 (李清清等, 2010), 是一种重要的绿色防控方式。然而关于茉莉酸甲酯诱导激活红小豆对红叶螨防御反应的相关研究鲜有报道。

为探究茉莉酸甲酯对红小豆抗螨性的诱导作用, 以实验室前期筛选的红小豆感螨品种天津红和抗螨品种珍珠红为试验材料 (金永玲等, 2024), 测定红叶螨取食对红小豆叶片内茉莉酸含量的诱导效应及喷施茉莉酸甲酯后红叶螨的产卵量、取食量和种群数量, 并于田间测定茉莉酸甲酯对红

叶螨的防效,以期为红叶螨绿色防控提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物及虫源:供试红小豆品种分别为红小豆感螨品种天津红及抗螨品种珍珠红,由黑龙江省农业科学院佳木斯分院提供。2018年于黑龙江八一农垦大学试验基地红小豆上采集红叶螨成螨,品种鉴定后置于温度25℃、光周期16 L:8 D、相对湿度50%~70%的室内继代培养,取雌成螨供试。

试剂和仪器:纯度95%的茉莉酸甲酯,北京索莱宝科技有限公司;茉莉酸含量检测试剂盒,北京信诺金达生物科技有限公司;农乳500,江苏省海安石油化工厂。SZ2-CLS体视显微镜,奥林巴斯(中国)有限公司;T6新世纪紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;3WBD-20L电动喷雾器,山东先瑞智能科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 红叶螨胁迫下红小豆内茉莉酸含量的测定

将红小豆感螨品种和抗螨品种种植到内径为20.0 cm、高13.5 cm的花盆中,每盆5株红小豆,置于温度25℃、光周期16 L:8 D、相对湿度50%~70%的室内培养,统一水肥管理,不喷施任何药剂。待红小豆长至分枝期,每个品种选取60株长势良好的红小豆接虫,每株接50头雌成螨,以红小豆抗螨品种不接虫处理为对照,用双面胶包裹红小豆叶柄基部以防止试虫在叶片间移动。分别于接虫1、3和5 d后用毛笔轻轻扫去红叶螨,每个处理每个时间各选择10株植株的第2片和第3片三出复叶,置于液氮中冷冻30 min,放入-80℃冰箱备用,每个处理3个重复。采用酶联免疫吸附测定(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)法对红小豆叶片中茉莉酸含量进行测定。每个样品称取叶片0.1 g,按1:9质量体积比加入磷酸盐缓冲液,制成匀浆,于4℃、3 000 g条件下离心20 min,取上清液备用。分别设空白对照(不加样品及酶标试剂)、标准品和待测样品3个处理,按照茉莉酸含量检测试剂盒说明书进行试验,反应终止后以空白对照调零,于450 nm波长处测定不同含量茉莉酸标准品的吸光度,建立标准曲线;于450 nm波长处测定待测样品的吸光度,将其代入标准曲线中,即可得到待测样品的茉莉酸含量。

1.2.2 茉莉酸甲酯诱导对红叶螨产卵量影响的测定

两种红小豆种植方法同1.2.1,每盆5株(1个重复),待红小豆长至分枝期,每个品种选取同一批长

势良好的红小豆,采用叶面喷施的方法将0.5 mmol/L茉莉酸甲酯均匀喷施到红小豆植株上,每盆喷施5 mL,分别以喷施等量清水的两种红小豆植株作为对照。分别于喷施1、3和5 d后接虫,每株接5头已交配的雌成螨,用双面胶包裹植株叶柄基部以防止试虫在叶片间移动。每个处理3个重复。接虫48 h后于体视显微镜下观察每株红小豆叶片上红叶螨的产卵量。

1.2.3 茉莉酸甲酯诱导对红叶螨取食面积影响的测定

两种红小豆种植方法同1.2.1,每盆5株(1个重复),待红小豆长至分枝期,每个品种选取同一批长势良好的红小豆,采用叶面喷施的方法将0.5 mmol/L茉莉酸甲酯均匀喷施到红小豆植株上,每盆喷施5 mL,分别以喷施等量清水的两种红小豆作为对照。分别于喷施1、3和5 d后接虫,每株选择两片大小相近的叶片进行接虫,每株接20头雌成螨,用双面胶包裹植株叶柄基部以防止试虫在叶片间移动,每个处理3个重复。接虫48 h后红小豆植株被红叶螨刺吸,被害叶片正面产生黄色斑点,取样并拍照记录,通过Image J软件统计分析不同处理叶片上红叶螨取食叶片的面积。

1.2.4 茉莉酸甲酯诱导对红叶螨种群数量影响的测定

两种红小豆种植方法同1.2.1,每盆5株(1个重复),待红小豆长至分枝期,每个品种选取同一批长势良好的红小豆,采用叶面喷施的方法将0.5 mmol/L茉莉酸甲酯均匀喷施到红小豆植株上,每盆喷施5 mL,分别以喷施等量清水的两种红小豆作为对照。分别于喷施1、3和5 d后接虫,每株选择两片大小相近的叶片进行接虫,每株接5头雌成螨,用双面胶包裹植株叶柄基部以防止试虫在叶片间移动。每个处理3个重复,14 d后调查叶片上红叶螨成螨总量。

1.2.5 茉莉酸甲酯对红叶螨田间防效的测定

2022年6—7月在黑龙江八一农垦大学实验基地种植红小豆天津红,株距15 cm,行距50 cm。试验共设3个处理,即喷施0.5 mmol/L茉莉酸甲酯、喷施0.5 mmol/L茉莉酸甲酯+助剂农乳500(喷液量的0.3%)和喷清水(对照),采取随机区组设计,每个处理1个小区,每个小区10 m²(2 m×5 m),共设9个小区,统一水肥管理,不施用任何化学药剂。待植株长至分枝期、红叶螨发生前,采用电动喷雾器对植株进行喷施处理,喷液量为225 L/hm²。施药后每5 d调查不同处理小区红叶螨的发生情况,共调查了4次,每次每个小区随机选择5个点,每个点调查1株,计数植株上红叶螨的数量,计算防效。防效=(对照植

株上红叶螨数量-处理植株上红叶螨数量)/对照植株上红叶螨数量×100%。

1.3 数据分析

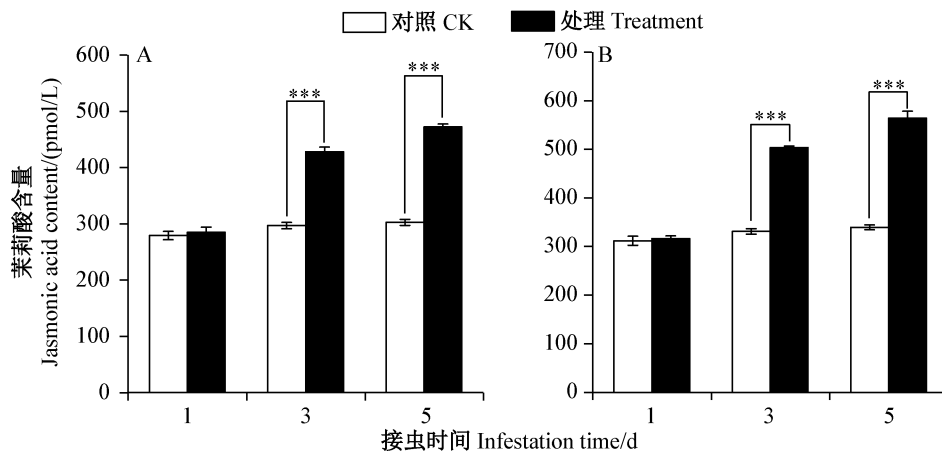
利用SPSS Statistics 27.0软件对数据进行统计分析。接虫前后叶片内茉莉酸含量采用独立样本 t 检验法进行差异显著性检验,其余数据采用单因素方差分析,并应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 红叶螨胁迫下红小豆叶片内茉莉酸含量变化

对照处理1、3和5 d后,红小豆抗螨品种和感螨

品种叶片内茉莉酸含量差异较小,前者分别较后者提高11.70%、11.48%和12.20%。接虫1 d后,红小豆抗感品种叶片内茉莉酸含量较对照升高,但差异不显著;接虫3 d和5 d后,红小豆抗感品种叶片内茉莉酸含量较对照极显著增加($P<0.001$),其中感螨品种分别较对照极显著提高了44.24%和56.08%($P<0.001$),抗螨品种分别较对照极显著提高了52.13%和66.09%($P<0.001$)。表明红叶螨取食显著诱导红小豆叶片内茉莉酸含量上调,激活了红小豆的茉莉酸信号,且抗螨品种内茉莉酸变化幅度高于感螨品种(图1)。



A: 感螨品种天津红; B: 抗螨品种珍珠红。A: Mite-susceptible variety Tianjinhong; B: mite-resistant variety Zhenzhuhong.

图1 红叶螨取食后红小豆叶片内茉莉酸含量变化

Fig. 1 Changes in jasmonic acid content in adzuki bean leaves induced by *Tetranychus pueraricola* feeding

图中数据为平均数±标准误。***表示两个处理之间经独立样本 t 检验法检验差异极显著($P<0.001$)。Data are mean±SE. *** indicates extremely significant difference between two treatments based on an independent samples t test ($P<0.001$).

2.2 茉莉酸甲酯诱导红小豆对红叶螨的防御作用

2.2.1 茉莉酸甲酯诱导对红叶螨产卵量的影响

对照中,红小豆感螨品种和抗螨品种上红叶螨的产卵量分别为70粒/株和64粒/株。红小豆感螨品种叶片喷施茉莉酸甲酯1、3和5 d后,红叶螨在其上的产卵量呈先下降后上升的趋势,但均显著低于对照($P<0.05$),其中喷施茉莉酸甲酯3 d后,红叶螨的产卵量最少,为52粒/株;红小豆抗螨品种喷施茉莉酸甲酯1、3和5 d后,红叶螨在其上的产卵量呈逐渐下降的趋势,其中喷施茉莉酸甲酯1 d后,红叶螨在其上的产卵量与对照差异不显著;喷施茉莉酸甲酯3 d和5 d后,红叶螨在其上的产卵量分别为53粒/株和50粒/株,均较对照显著下降($P<0.05$,图2-A)。表明红小豆抗螨品种上红叶螨的产卵量比感螨品种低,但红小豆感螨品种上红叶螨的产卵

量受茉莉酸甲酯诱导影响较大,仅在喷施茉莉酸甲酯1 d后产卵量就较对照显著降低($P<0.05$)。

2.2.2 茉莉酸甲酯诱导对红叶螨取食面积的影响

红小豆喷施茉莉酸甲酯后,红叶螨对其的取食面积较对照显著下降。未喷施前,红叶螨对红小豆感螨品种的取食面积为0.225 cm²,喷施茉莉酸甲酯1、3和5 d后,红叶螨对其的取食面积分别为0.117、0.075和0.072 cm²,均显著低于对照($P<0.05$);未喷施前,红叶螨对红小豆抗螨品种的取食面积为0.192 cm²,喷施茉莉酸甲酯1、3和5 d后,红叶螨对其的取食面积分别为0.085、0.065和0.060 cm²,三者之间差异不显著,但均显著低于对照($P<0.05$,图2-B)。表明茉莉酸甲酯对两个红小豆品种防御红叶螨取食均起到了正调控作用。

2.2.3 茉莉酸甲酯诱导对红叶螨种群数量的影响

喷施茉莉酸甲酯3 d后再接虫14 d后,红小豆感螨品种上红叶螨成螨数量为52.67头/株,显著低于对照($P<0.05$);喷施茉莉酸甲酯1 d和5 d后再接虫14 d后,其上红叶螨成螨数量较对照下降,但与对照差异并不显著;喷施茉莉酸甲酯1 d后再接虫14 d

后,红小豆抗螨品种上红叶螨成螨数量为41.67头/株,较对照显著降低($P<0.05$),而其他两个处理与对照差异不显著(图2-C)。表明茉莉酸甲酯处理后,红小豆感螨品种和抗螨品种上红叶螨成螨数量均受到了不同程度的抑制。

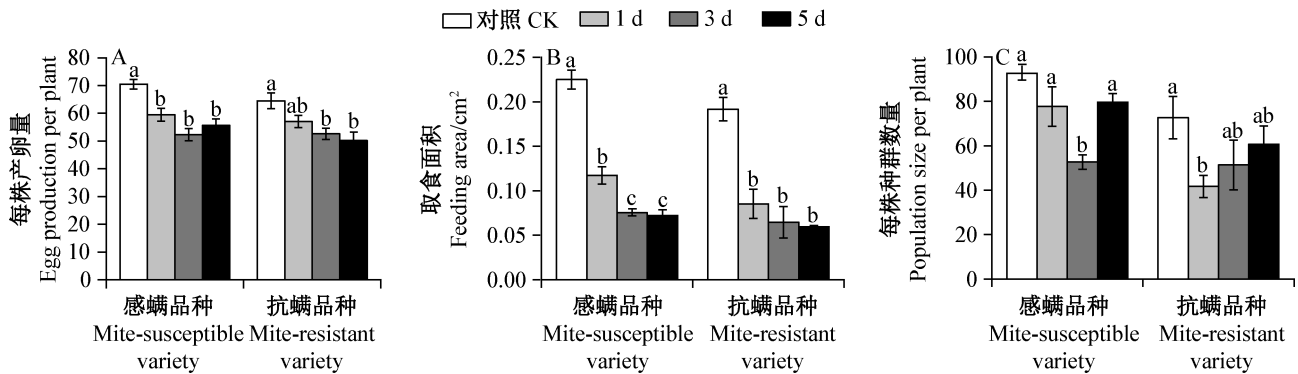


图2 茉莉酸甲酯对红叶螨产卵量(A)、取食面积(B)和种群数量(C)的影响

Fig. 2 Effects of methyl jasmonate on oviposition (A), feeding area (B), population size (C) of *Tetranychus pueraricola*

图中数据为平均数±标准误。同品种下不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters within the same variety indicate significant differences as determined by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

2.3 喷施外源茉莉酸甲酯对红叶螨田间种群数量的影响

对照处理5 d后,红小豆上出现红叶螨;茉莉酸甲酯处理10 d后,红小豆上出现红叶螨,说明茉莉酸甲酯处理后红小豆上红叶螨发生期延后。茉莉酸甲酯处理和茉莉酸甲酯+助剂处理10~20 d后,红小豆上红叶螨种群数量均显著低于对照($P<0.05$),其中处理10 d后对红叶螨的防效分别为91.55%和92.61%,两者之间差异不显著;处理15 d和20 d后,茉莉酸甲酯对红叶螨的防效分别为92.91%和84.50%,茉莉酸甲酯+助剂对红叶螨的防效分别为98.08%和97.88%,均显著高于茉莉酸甲酯单独施用($P<0.05$,表1)。

3 讨论

茉莉酸可调控多种基因,其中一部分基因参与调控植物的生长发育,另一部分基因则与植物自身的防御反应有关(Chen et al., 2019)。本研究结果显示红叶螨取食3 d后红小豆抗感螨品种叶片内茉莉酸含量极显著增加,且随着取食时间增加呈上升的趋势,同时红小豆抗螨品种叶片内茉莉酸含量和变化幅度均大于红小豆感螨品种,表明红叶螨取食能诱导红小豆的茉莉酸防御反应,进而证实茉莉酸途径参与调控红小豆对红叶螨的抗性。Xu et al.

(2023)研究发现朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 取食后茄子 *Solanum melongena* 中茉莉酸含量显著增加,与本研究结果一致;孙计平等(2021)研究发现未接种蚜虫前烟草 *Nicotiana tabacum* 抗蚜品种内茉莉酸含量极显著高于其他品种,接种蚜虫后12个烟草品种内茉莉酸含量均极显著增加,且烟草抗蚜品种体内茉莉酸增加量和增加幅度均大于感蚜品种,与本研究结果一致。

茉莉酸甲酯处理后植株能抑制昆虫的产卵。例如,吕要斌和刘树生(2005)研究发现取食经外源茉莉酸甲酯处理的甘蓝 *Brassica oleracea* var. *capitata* 后小菜蛾 *Plutella xylostella* 产卵量明显下降;孟昭军等(2018)研究表明茉莉酸甲酯处理的长白落叶松 *Larix olgensis* 明显影响落叶松毛虫 *Dendrolimus superans* 雌成虫的产卵行为;王友超等(2018)研究指出取食不同浓度茉莉酸甲酯诱导的玉米幼苗后亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 的产卵量均较对照下降;Zhang et al. (2023)发现茉莉酸甲酯处理使木薯 *Manihot esculenta* 上二斑叶螨的产卵量降低;周鹏勇等(2019)研究结果显示茉莉酸甲酯处理后水稻上褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 的产卵量显著降低。本研究结果显示红小豆感螨品种和抗螨品种喷施茉莉酸甲酯后接种红叶螨,其产卵量均显著低于对照,表明

茉莉酸甲酯对红叶螨产卵有抑制作用,进而影响红小豆的抗虫性。此外,本研究还发现红小豆感螨品种上红叶螨的产卵量高于抗螨品种上的产卵量,表明红小豆感螨品种上红叶螨产卵量对茉莉酸甲酯诱

导响应较大,这可能也与二者的抗性差异有关,再次证实本实验室前期对红小豆抗感螨品种筛选的准确性。

表1 外源诱导剂处理对红小豆红叶螨的防御效果

Table 1 Defensive effects of exogenous inducer treatment against *Tetranychus pueraricola* on adzuki bean

处理 Treatment	药后 5 d 5 days after treatment		药后 10 d 10 days after treatment	
	每株种群数量 Population size por plant	防效 Control efficacy/%	每株种群数量 Population size por plant	防效 Control efficacy/%
	对照 CK	23.56±1.21 a	—	44.76±5.32 a
0.5 mmol/L 茉莉酸甲酯 0.5 mmol/L methyl jasmonate	0.00±0.00 b	100.00±0.00 a	3.78±1.02 b	91.55±3.24 a
0.5 mmol/L 茉莉酸甲酯+助剂 0.5 mmol/L 茉莉酸甲酯+adjuvant	0.00±0.00 b	100.00±0.00 a	3.31±0.78 b	92.61±4.28 a
处理 Treatment	药后 15 d 15 days after treatment		药后 20 d 20 days after treatment	
	每株种群数量 Population size por plant	防效 Control efficacy/%	每株种群数量 Population size por plant	防效 Control efficacy/%
	对照 CK	63.15±4.56 a	—	106.21±5.32 a
0.5 mmol/L 茉莉酸甲酯 0.5 mmol/L methyl jasmonate	4.48±1.12 b	92.91±3.89 b	16.46±3.45 b	84.50±3.33 b
0.5 mmol/L 茉莉酸甲酯+助剂 0.5 mmol/L 茉莉酸甲酯+adjuvant	1.21±0.21 b	98.08±4.14 a	2.25±0.52 c	97.88±3.72 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters within the same column indicate significant differences as determined by Duncan's new multiple range test ($P < 0.05$).

茉莉酸甲酯处理后植株能抑制昆虫的取食行为。例如,Zas et al.(2014)发现 25 mmol/L 茉莉酸甲酯处理挪威云杉 *Picea abies* 和蒙特雷松 *Pinus radiata* 后,欧洲松树皮象甲 *Hylobius abietis* 对这两种松树的取食量均显著下降;方海涛(2013)研究发现取食经茉莉酸甲酯处理的蒙古扁桃叶片后黄褐天幕毛虫 *Malacosoma neustria testacea* 的取食量、近似消化率和食物利用率均降低;王俊斌等(2010)研究结果显示饲喂外源茉莉酸甲酯诱导的烟草叶片后,棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 的取食面积减少;Egger & Koschier(2014)发现西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 在茉莉酸甲酯诱导的菜豆上的取食面积减少。本研究发现饲喂 0.5 mmol/L 茉莉酸甲酯处理的红小豆抗感螨品种 1、3 和 5 d 后,红叶螨的取食面积均显著减少,与已有研究结果一致。推测喷施外源茉莉酸甲酯可能通过抑制红叶螨取食量来增强红小豆的抗螨性。

茉莉酸甲酯处理会影响昆虫的种群数量。例如,樊婕(2020)研究发现 5 种浓度的茉莉酸甲酯处

理后,菊花 *Dendranthema morifolium* 上蚜虫的数量均较对照有不同程度的减少;郭亚红(2021)研究表明饲喂茉莉酸甲酯处理后的辣椒 *Capsicum annuum* 抗感品种后,烟粉虱 *Bemisia tabaci* 成虫虫口密度显著下降,且在抗性品种上的持续效果超过 1 周;Zhan et al.(2022)研究也表明茉莉酸甲酯诱导能降低辣椒上桃蚜 *Myzus persicae* 的种群数量。本研究发现茉莉酸甲酯能抑制红小豆抗感品种上红叶螨的种群数量,其中红小豆感螨品种喷施 3 d 后对红叶螨种群数量的抑制效果最好,红小豆抗感品种喷施 1 d 后对红叶螨种群数量的抑制效果最好。此外,本研究田间试验结果显示喷施茉莉酸甲酯后,红叶螨的发生期延后,红叶螨发生数量显著低于对照,防御效果明显。衡森等(2022)通过田间试验发现辣椒喷施茉莉酸甲酯后,随着处理时间的延长,烟粉虱的种群数量持续下降。以上研究表明,茉莉酸甲酯作为信号分子,通过激活红小豆自身的抗虫机制来抵御红叶螨,可将其作为一种有效的田间预防性措施,与其他防治手段结合使用,可减少作物对传统

化学杀螨剂的依赖,从而构建可持续的红叶螨综合治理体系。

综上所述,红叶螨取食可以激活红小豆的茉莉酸防御反应,诱导红小豆叶片内茉莉酸含量增加。施用外源茉莉酸甲酯可以抑制红叶螨的产卵、取食和繁殖行为,进而有效防控红叶螨,但抗感红小豆品种对茉莉酸甲酯的响应有一定差异。红小豆感螨品种喷施外源茉莉酸甲酯后,响应更敏感,表现为红叶螨的产卵量、种群数量下降趋势更明显。因此在红小豆生产中,针对抗性弱的品种可提前喷施茉莉酸甲酯来延后红叶螨的发生期,减轻红叶螨的发生与为害。未来可尝试将茉莉酸甲酯用于其他作物与其他植物激素诱导物联合使用,为大田作物上红叶螨的绿色防控提供思路。

参 考 文 献 (References)

- Ashraf J, Awais M, Liu LY, Khan MI, Tong LT, Ma YL, Wang LL, Zhou XR, Zhou SM. 2020. Effect of thermal processing on cholesterol synthesis, solubilisation into micelles and antioxidant activities using peptides of *Vigna angularis* and *Vicia faba*. *LWT*, 129: 109504
- Chen XY, Wang DD, Fang X, Chen XY, Mao YB. 2019. Plant specialized metabolism regulated by jasmonate signaling. *Plant & Cell Physiology*, 60(12): 2638–2647
- Egger B, Koschier EH. 2014. Behavioural responses of *Frankliniella occidentalis* Pergande larvae to methyl jasmonate and *cis*-jasmone. *Journal of Pest Science*, 87(1): 53–59
- Fan J. 2020. Study on the effect of methyl jasmonate on aphid resistance of chrysanthemum. Master thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University (in Chinese) [樊婕. 2020. 茉莉酸甲酯对菊花抗蚜性的影响机理研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学]
- Fang HT. 2013. Induced resistance of Mongol almond, *Amygdalus mongolica*, to exogenous methyl jasmonate and effect on tent caterpillar, *Malacosoma neustria testacea*. PhD master. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University (in Chinese) [方海涛. 2013. 蒙古扁桃对外源 MeJA 的诱导抗性反应及其对黄褐天幕毛虫的影响. 博士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学]
- Heng S, Shao JZ, Wu YH, Han DB, Chen XR, Wu XX, Zhou FC. 2022. Effects of exogenous methyl jasmonate on *Bemisia tabaci* on pepper. *Journal of Environmental Entomology*, 44(3): 729–735 (in Chinese) [衡森, 邵久之, 郭亚红, 韩杜斌, 陈向荣, 吴晓霞, 周福才. 2022. 外源茉莉酸甲酯对辣椒烟粉虱的影响. 环境昆虫学报, 44(3): 729–735]
- Jiang D, Yan SC. 2018. MeJA is more effective than JA in inducing defense responses in *Larix olgensis*. *Arthropod-Plant Interactions*, 12(1): 49–56
- Jiao L, Cai XM, Bian L, Luo ZX, Li ZQ, Xin ZJ, Chen ZM. 2018. Jasmonates: from induced plant anti-herbivore defensive reaction to growth-defense tradeoffs. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 29(11): 3876–3890 (in Chinese) [焦龙, 蔡晓明, 边磊, 罗宗秀, 李兆群, 辛肇军, 陈宗懋. 2018. 茉莉酸类化合物: 从植物的诱导抗虫防御反应到生长-防御权衡. 应用生态学报, 29(11): 3876–3890]
- Jin PY. 2019. Phylogenetic and population genetics of major agricultural spider mites in China. PhD master. Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese) [靳鹏宇. 2019. 我国重要叶螨的系统发育与种群遗传学研究. 博士学位论文. 南京: 南京农业大学]
- Jin YL, Liu JL, Wang LY, Xiao H, Zhao H. 2024. Screening and evaluation methods for resistance of 13 adzuki bean varieties to *Tetranychus pueraricola*. *Journal of Environmental Entomology*, 46(1): 253–260 (in Chinese) [金永玲, 刘吉利, 王丽艳, 肖晗, 赵航. 2024. 13个红小豆品种对红叶螨抗性筛选及评价方法. 环境昆虫学报, 46(1): 253–260]
- Li QQ, Li DP, Li DQ. 2010. The research progress in biosynthesis and regulation of jasmonates. *Biotechnology Bulletin*, 26(1): 53–57, 62 (in Chinese) [李清清, 李大鹏, 李德全. 2010. 茉莉酸和茉莉酸甲酯生物合成及其调控机制. 生物技术通报, 26(1): 53–57, 62]
- Liu CN, Chen H, Shen RW, Zhao YS, Wang Y, Li J, Ma RY, Kong WN. 2025. Metabolic responses of pear fruit to oriental fruit moth *Grapholita molesta* herbivory and behavioral regulation by jasmonates. *Journal of Plant Protection*, 52(3): 591–602 (in Chinese) [刘昌念, 陈航, 申瑞威, 赵育松, 王怡, 李捷, 马瑞燕, 孔维娜. 2025. 梨小食心虫取食后梨果的代谢响应及茉莉酸类物质对其行为的调控作用. 植物保护学报, 52(3): 591–602]
- Lü YB, Liu SS. 2005. Effects of exogenous jasmonic acid-induced plant responses on development and growth of *Plutella xylostella*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(1): 193–195 (in Chinese) [吕要斌, 刘树生. 2005. 外源茉莉酸诱导植物反应对小菜蛾生长发育的影响. 应用生态学报, 16(1): 193–195]
- Meng ZJ, Lin J, Wang Q, Lu YF, Wang L, Yan SC. 2018. Behavioral responses of *Dendrolimus superans* to *Larix olgensis* seedlings treated with methyl jasmonate. *Journal of Beijing Forestry University*, 40(12): 60–67 (in Chinese) [孟昭军, 林健, 王琪, 鲁艺芳, 王雷, 严善春. 2018. 落叶松毛虫对茉莉酸甲酯处理长白落叶松苗的行为反应. 北京林业大学学报, 40(12): 60–67]
- Sun JP, Chen F, Li XJ, Sun H, Li XH. 2021. Analysis of jasmonic acid content change after infected by aphid in different tobacco varieties. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 50(1): 101–107 (in Chinese) [孙计平, 陈飞, 李雪君, 孙焕, 李旭辉. 2021. 接种蚜虫后不同烟草品种茉莉酸含量变化研究. 河南农业科学, 50(1): 101–107]
- Tian XT, Zhang J, Li D, Cheng WN. 2013. Effects of exogenous jasmonic acid on resistance of kidney bean to *Liriomyza sativae*. *Journal of Plant Protection*, 40(4): 345–349 (in Chinese) [田旭涛,

- 张箭, 李丹, 成卫宁. 2013. 茉莉酸处理菜豆对美洲斑潜蝇抗性的影响. 植物保护学报, 40(4): 345–349]
- Van Leeuwen T, Dermauw W, Grbic M, Tirry L, Feyereisen R. 2013. Spider mite control and resistance management: does a genome help? Pest Management Science, 69(2): 156–159
- Van Leeuwen T, Vontas J, Tsagkarakou A, Dermauw W, Tirry L. 2010. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: a review. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 40(8): 563–572
- Wang JB, Wang HF, Cui XY, Yang YT. 2010. Inducement of methyl jasmonate on resistance of tobacco to cotton bollworms. Chinese Agricultural Science Bulletin, 26(17): 277–280 (in Chinese) [王俊斌, 王海凤, 崔新仪, 杨雅婷. 2010. 茉莉酸甲酯对烟草抵御棉铃虫的诱导作用. 中国农学通报, 26(17): 277–280]
- Wang YC, Wang YL, Zhang YT, Yang ZZ, Liu CG, Fu HY, Yang FS. 2018. Effects of exogenous methyl jasmonate induced maize defense responses on biological characteristics of Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis*). Chinese Agricultural Science Bulletin, 34(35): 98–104 (in Chinese) [王友超, 王娅丽, 张一桐, 杨泽众, 刘春光, 付海燕, 杨峰山. 2018. 外源 MeJA 诱导玉米抗性对亚洲玉米螟生物学特性的影响. 中国农学通报, 34(35): 98–104]
- Wu YH. 2021. Study on the effect of exogenous methyl jasmonate on enhancing the resistance of pepper to *Bemisia tabaci* (Gennadius). Master thesis. Yangzhou: Yangzhou University (in Chinese) [邬亚红. 2021. 外源茉莉酸甲酯增强辣椒对烟粉虱抗性的作用研究. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学]
- Xu ZF, Cheng JH, Wang TY, Huang QQ, Liu PL, Zhang MY, Zhang P, He L. 2023. Novel jasmonic acid-coumarin pathway in the eggplant that inhibits vitellogenin gene expression to prevent mite reproduction. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 71(38): 13979–13987
- Zas R, Björklund N, Nordlander G, Cendán C, Hellqvist C, Sampedro L. 2014. Exploiting jasmonate-induced responses for field protection of conifer seedlings against a major forest pest, *Hylobius abietis*. Forest Ecology and Management, 313: 212–223
- Zhan X, Liu Y, Liang X, Wu CL, Liu XQ, Shui J, Zhang Y, Wang Y, Chen Q. 2022. Methyl jasmonate-treated pepper (*Capsicum annuum* L.) depresses performance and alters activities of protective, detoxification and digestive enzymes of green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). Journal of Insect Science, 22(6): 11
- Zhang Y, Liu Y, Liang X, Wu CL, Liu XQ, Wu MF, Yao XW, Qiao Y, Zhan X, Chen Q. 2023. Exogenous methyl jasmonate induced cassava defense response and enhanced resistance to *Tetranychus urticae*. Experimental and Applied Acarology, 89(1): 45–60
- Zhao QY, Fan YM, Zhao LX, Zhu YQ, Jiang YR, Gu J, Xue Y, Hao ZH, Shen Q. 2024. Identification and molecular binding mechanism of novel pancreatic lipase and cholesterol esterase inhibitory peptides from heat-treated adzuki bean protein hydrolysates. Food Chemistry, 439: 138129
- Zhou J. 2022. Induction of aphid resistance of mung bean by methyl jasmonate and salicylic acid. Master thesis. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University (in Chinese) [周晶. 2022. 利用茉莉酸甲酯和水杨酸诱导绿豆抗蚜性研究. 硕士学位论文. 大庆: 黑龙江八一农垦大学]
- Zhou PY, Li CZ, Wang XJ, Fu WJ, Wu YT, Lou YG. 2019. Screening of chemical elicitors inducing the resistance of rice to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). Acta Entomologica Sinica, 62(8): 970–978 (in Chinese) [周鹏勇, 李承哲, 王昕珏, 傅文婕, 吴好婷, 娄永根. 2019. 诱导水稻抗褐飞虱的化学激发子筛选. 昆虫学报, 62(8): 970–978]

(责任编辑: 张俊芳)