主持人：缪卫国，吴少英

Open Access

已交配普通大蓟马的繁殖对水杨酸甲酯气味的响应

曹　冉[#]，乔婷婷，邹游兴，但建国[*]

（海南大学 热带农林学院，海南 儋州 571737 中国）

摘　要：普通大蓟马（*Megalurothrips usitatus*）是豆类作物上一种极难防治的害虫。为拓展水杨酸甲酯（methyl salicylate, MeSA）在该虫 IPM 实践中的潜在应用价值，本研究采用成虫熏蒸法，评价了 MeSA 气味浓度对已交配普通大蓟马繁殖和性比的影响。0.000 5、0.001 和 0.05 μL·L^{-1} MeSA 处理的子代雄性比介于 0.33 ~ 0.42，与对照无显著差异，其日性比动态也基本相似。0.000 5 和 0.001 μL·L^{-1} MeSA 气味促使子代雌虫数显著减少至 103 头·雌$^{-1}$ 左右，后者的子代雄虫数（50.17 头·雌$^{-1}$）也显著小于对照。本研究结果证实 MeSA 熏蒸处理已交配普通大蓟马雌虫对其子代性比没有干扰作用，但低浓度 MeSA 气味能降低其繁殖能力。低剂量 MeSA 抑繁效应可为该虫绿色防控新对策的研发提供依据。

关键词：普通大蓟马；豇豆；水杨酸甲酯；繁殖；性比

中图分类号：S436.3　**文献标志码：**A　**文章编号：**1674 − 7054(2026)04 − 0638 − 07

曹冉，乔婷婷，邹游兴，等. 已交配普通大蓟马的繁殖对水杨酸甲酯气味的响应[J]. 热带生物学报（中英文），2026, 17(4): 638−644.　DOI: 10.15886/j.cnki.rdswxb.20250104　CSTR: 32425.14.j.cnki.rdswxb.20250104

普通大蓟马（*Megalurothrips usitatus*）是热带和亚热带豆科植物上的植食性昆虫，主要分布于亚洲和大洋洲，近几年已传播至美洲多个国家[1−2]。在中国海南省，该虫是豇豆（*Vigna unguiculata*）害虫群落中的优势种，其发生与危害极大地阻碍了豇豆的丰产和增收[3−6]。普通大蓟马既可行两性生殖，也能进行产雄孤雌生殖（arrhenotoky），属于单倍-二倍体（haplodiploidy）生物[6]，即雌虫为二倍体，由受精卵发育而成，未受精卵则发育成为单倍体雄虫。考虑到繁殖力和性比是影响蓟马种群数量增长的 2 个关键因子[7]，探究普通大蓟马繁殖力和性比的调控机理十分必要。对此，多年的研究已取得了部分成果。普通大蓟马繁殖力的影响因子主要包括繁殖方式[8]、食物[5,8−10]、蓟马种间竞争[11]、温度[3]、氮肥施用水平[12]、杀虫剂[6] 等。同种雌性成虫气味[13]、作物施氮水平[12] 和紫外光[14] 能改变普通大蓟马的子代性比，而寄主植物[8]、杀虫剂亚致死剂量[6]，以及章鱼胺和酪胺[15] 对该虫的性别分配没有干扰作用。

近些年来，植物挥发性有机化合物日益成为蓟马研究领域中的焦点[16−17]，其中，水杨酸甲酯（Methyl salicylate, MeSA）在国内外备受关注。MeSA 既是植食诱导的植物挥发物（Herbivory-induced plant volatiles, HIPVs），也属损伤诱导的挥发物（Damage-induced volatiles, DIVs）[18]。此外，MeSA 还是一种空气传播的防御信号物质，能激活邻近植物的免疫响应[19−21]。迄今，有关 MeSA 与蓟马关系的研究侧重于以下 2 个方面：一是 MeSA 对蓟马的直接影响，主要涉及蓟马的趋性、取食和产卵行为[16,22−27]，以及对蓟马的毒力[28]；二是 MeSA 对蓟马的间接影响，涵盖寄主植物的诱导抗性[29−30] 和对蓟马天敌的诱集能力[27,31−32]。研究人员曾检测发现，某些叶螨或害虫的取食与为害能刺激豇豆、大豆植株释放 MeSA[33−34]。在虫害诱导释放的 MeSA 气味中，蓟马的繁殖和性别分配是否受到干扰呢？目前，国内外对此问题的探究尚属空白。本研究采用成虫熏蒸法，评价了不同浓度 MeSA 气味对普通大蓟马繁殖能力和性比的直接影响，

收稿日期：2025−08−14　**修回日期：**2025−09−04

基金项目：国家自然科学基金项目（31760515）。

[#]**第一作者：**曹冉（1998—），女，海南大学热带农林院 2021 级硕士研究生。E-mail: 2402410189@qq.com

[*]**通信作者：**但建国（1965—），男，副教授。研究方向：昆虫生态学。E-mail: danwolke@foxmail.com

所得结果对普通大蓟马绿色防控对策的研发具有指导意义。

1　材料与方法

1.1　供试植物　在网室大棚内种植豇豆(品种: 纯丰长豇豆 *Vigna unguiculata*), 按常规栽培技术与措施进行管理, 选取健康、幼嫩的豆荚作为普通大蓟马的饲养材料。

1.2　供试虫源　在海南大学海甸校区植物保护教学实验基地(20°03′38″ N, 110°19′46″ E), 采集豇豆花朵内的普通大蓟马成虫, 于室内用幼嫩的豇豆豆荚饲养, 适时更换食物。饲养条件为(26±1)℃、相对湿度(60±5)%、光周期 L(光照时间):D(黑暗时间)=14:10。当子代发育至 2 龄若虫时, 用幼嫩豆荚在玻璃试管(12 mm×100 mm)中进行单头饲养。刚羽化的雌虫和雄虫配对饲养 24 h 后, 挑选健康的、已交配的 1 日龄雌虫作为试虫。

1.3　供试试剂　Sigma 公司出产的水杨酸甲酯(methyl salicylate, 99%)和石蜡油。以石蜡油为溶剂[35], 配制出不同浓度的 MeSA 溶液。

1.4　试验方法　根据前期预备试验结果, 参照 Lu 等[28] 的报道, 本试验设置 4 个处理: 对照组(CK, 不含 MeSA)、0.000 5 μL·L^{-1} MeSA、0.001 μL·L^{-1} MeSA 和 0.05 μL·L^{-1} MeSA 处理。在离心管(5 mL)管壁侧面的中央开 1 个透气孔(10 mm×20 mm), 并用孔径为 42.86 μm 的尼龙网封孔, 防止试虫逃逸。每支离心管内放置 1 段幼嫩豇豆豆荚, 接入 1 头已交配雌虫后, 用棉花塞紧管口。然后将 10 支离心管放到特制的试管架上, 再将试管架移到玻璃密封罐(2 L)中。取 0.2 mL 不同浓度 MeSA 溶液, 添加到离心管(1.5 mL)内的滤纸条(5 mm×10 mm)上, 用作 MeSA 气味源。利用真空泵与活性炭净化密封罐内的空气 10 min 后, 放置 MeSA 气味源, 然后立即封罐。4 个处理的罐内 MeSA 气味浓度分别为 0(不含 MeSA)、0.000 5、0.001 和 0.05 μL·L^{-1}。每 24 h 更换离心管中的豆荚和气味源, 直至亲代雌虫死亡。每处理测试 30 头亲代雌虫(即 30 次重复)。将更换出来的豆荚放置到新的玻璃试管(12 mm×100 mm)中, 在无 MeSA 气味条件下继续饲养, 直至子代成虫羽化。供试亲代雌虫及其子代的饲养条件均设定为(26±1)℃、相对湿度 60%±5%、光周期 L:D=14h:10h。观察和记录亲代雌虫存活状况、子代成虫的性别和数量, 计算子代性比(即雄性占成虫比例)和日性比。

1.5　数据分析　利用 WPS Office 2016 进行数据整理和绘图分析; 采用 SPSS v26.0 软件进行单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan 多重比较法。子代性比需经反正弦转换后再进行统计分析[6,12,28]。

2　结果与分析

2.1　子代性比　已交配普通大蓟马雌虫在不同浓度水杨酸甲酯(MeSA)气味胁迫下一生所产子代的性比见图 1。对照组、0.000 5、0.001 和 0.05 μL·L^{-1} MeSA 处理的雄性比分别为 0.40、0.39、0.33 和 0.42, 彼此之间无显著差异, 表明 0.000 5 ~ 0.05 μL·L^{-1} MeSA 熏蒸处理普通大蓟马雌虫对其子代性别分配无明显影响。

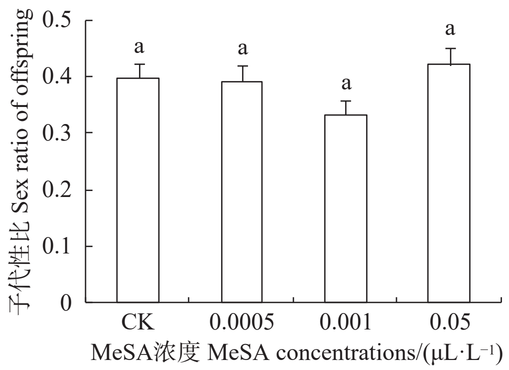

图 1　水杨酸甲酯气味胁迫下普通大蓟马所产子代性比

Fig. 1　Offspring sex ratio in *M. usitatus* mated females exposed to MeSA odor

注: 图中数据为平均值±标准误。柱上标有不同字母时, 表示在 P<0.05 上差异显著(Duncan 多重比较法)。

Note: Values are means ± SE. Bars with different letters indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

2.2　子代日性比动态　已交配普通大蓟马雌虫所产子代的日性比动态见图 2。除了产卵第 1 天、第 6 天和第 22 天外, 各处理的日性比之间差异不显著。0.05 μL·L^{-1} MeSA 处理在产卵第 1 天的性比偏雄, 高达 0.73, 显著大于其他处理(P<0.05)。在产卵第 6 天, 0.0005 μL·L^{-1} MeSA 处理的性比最小, 仅为 0.15, 与其他处理差异显著(P<0.05)。当成虫产卵周期进入第 22 天, 对照组的性比增长至 0.99, 与另外 3 个处理之间的差异均达到了显著水平(P<0.05)。

对照组的日性比变化趋势与 3 个 MeSA 处理基本相似。在亲代雌虫产卵周期的前半期, 各处理的日性比均偏雌, 唯一例外的是 0.05 μL·L^{-1}

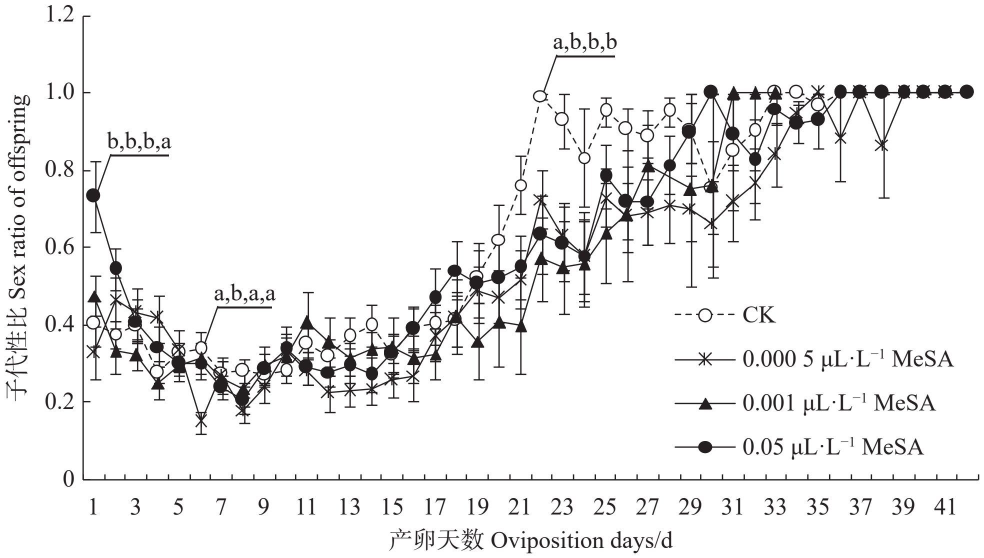

图 2 水杨酸甲酯气味胁迫下普通大蓟马子代性比日动态

Fig. 2 Daily variation in sex ratio of offspring produced by *M. usitatus* mated females exposed to MeSA odor

注：图中数据为平均值±标准误。同一天的数据标记上标有不同字母时，表示在 P<0.05 上差异显著(Duncan 多重比较法)。

Note: Values are means ± SE. Value markers with different letters on the same oviposition day indicates significant difference at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

MeSA 处理在产卵第 1～2 天的日性比为偏雄性比。随着产卵周期进入后半期，各处理的子代日性比逐渐增大，对照组、0.000 5、0.001 和 0.05 μL·L^{-1} MeSA 处理日性比大于 0.5 的出现时间分别为产卵第 19 天、第 21天、第 22 天和第 18 天。当对照组、0.000 5、0.001 和 0.05 μL·L^{-1} MeSA 处理亲代雌虫产卵周期分别进入产卵第 33 天、第 35 天、第 31 天和第 30 天后，所产子代几乎全为雄性(即性比等于 1.0)。

2.3 子代成虫数量 暴露于不同浓度 MeSA 气味的普通大蓟马雌虫所产子代的成虫数量见表 1。

子代雄虫数量：对照组、0.000 5、0.001 和 0.05 μL·L^{-1} MeSA 处理的子代雄虫数量分别为 100.73、75.93、50.17 和 111.80 头·雌$^{-1}$，其中，0.001 μL·L^{-1} MeSA 处理与对照组和 0.05 μL·L^{-1} MeSA 处理之间的差异都达到了显著水平(P<0.05)。

子代雌虫数量：0.000 5 和 0.001 μL·L^{-1} MeSA 处理的子代雌虫数量较少，其值分别为 103.63 和 102.30 头·雌$^{-1}$，显著小于对照(136.03 头·雌$^{-1}$)和 0.05 μL·L^{-1} MeSA 处理(130.77 头·雌$^{-1}$)(P<0.05)。

子代成虫数量：子代成虫数量的情形与子代雌虫数量类似。0.000 5 和 0.001 μL·L^{-1} MeSA 处理的子代成虫数量之间差异不显著，介于 152.47～179.57 头·雌$^{-1}$，与对照(236.77 头·雌$^{-1}$)和 0.05 μL·L^{-1} MeSA 处理(242.57 头·雌$^{-1}$)的子代成虫数量均有显著差异(P<0.05)，但 0.05 μL·L^{-1} MeSA 处理与对照的差异没有达到显著水平。

由此可见，低浓度(0.000 5 μL·L^{-1})和中浓度(0.001 μL·L^{-1})MeSA 熏蒸处理已交配普通大蓟马雌虫，能减少其子代雌虫和成虫的数量，中浓度 MeSA 气味对子代雄虫数也有抑制作用；而高浓度(0.05 μL·L^{-1})MeSA 气味对子代的雄虫数、雌虫数和成虫数都没有影响。

表 1 水杨酸甲酯气味胁迫对普通大蓟马子代成虫数量的影响

Tab. 1 Effect of mated female's exposure to MeSA odor on number of adult offspring of *Megalurothrips usitatus*

处理 Treatments	子代成虫数量/(头·雌$^{-1}$) Number of adult offspring per female		
	雄虫 Adult males	雌虫 Adult females	成虫 Adults
CK	100.73±11.47^{ab}	136.03±5.80^{a}	236.77±14.01^{a}
0.000 5 μL·L^{-1}MeSA	75.93±8.65^{bc}	103.63±5.20^{b}	179.57±10.43^{b}
0.001 μL·L^{-1}MeSA	50.17±4.81^{c}	102.30±7.88^{b}	152.47±9.87^{b}
0.05 μL·L^{-1}MeSA	111.80±14.89^{a}	130.77±7.91^{a}	242.57±17.47^{a}

注：表中数值为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示在P<0.05差异显著(Duncan多重比较法)。

Note: Values are means ± SE, and values with different letters within the same column are significantly different at the 0.05 level by Duncan's multiple range test.

3 讨　论

3.1 MeSA 亚致死剂量对蓟马性比的影响　作为植物信号分子的水杨酸甲酯(MeSA)能影响某些昆虫的行为,在特定浓度范围内 MeSA 还对害虫具有熏杀活性[36]。MeSA 通过与章鱼胺受体结合来杀死昆虫,被认为是章鱼胺受体拮抗剂[37]。Lu 等[28] 曾报道,MeSA 可熏杀玉米黄呆蓟马(*Anaphothrips obscurus*)成虫和若虫,对成虫 24 h 的 LC_{50} 为 1.03 μL·L^{-1}。本试验所施用的 MeSA 浓度(0.000 5 ~ 0.05 μL·L^{-1})远小于此值,应为亚致死剂量。

采用 0.000 5 ~ 0.05 μL·L^{-1} MeSA 熏蒸处理亲代雌虫对普通大蓟马子代性比没有显著影响。这与陈钰晴等[15] 的实验结果是一致的,她们发现给普通大蓟马雌虫饲喂章鱼胺后,其雌性子代数和子代成虫数显著减少,但子代性比却没有显著变化。同样地,Zheng 等[30] 研究发现,MeSA(10 μmol·L^{-1})也没能改变西花蓟马子代性比的大小,但是,他们的 MeSA 施用方法有所不同。植株喷施 MeSA 后,再用叶盘法饲养西花蓟马雌虫,所得结果主要反映了 MeSA 诱导的植物抗性对西花蓟马子代性比的影响。本研究采用的是熏蒸法,所评价的是 MeSA 气味对普通大蓟马子代性比的直接影响。

3.2 蓟马性比与雌性成虫年龄的关系　用 0.000 5 ~ 0.05 μL·L^{-1} MeSA 熏蒸处理已交配普通大蓟马雌虫后,其日性比动态与对照基本相似。在产卵周期的前半期,子代日性比基本偏雌;随后,子代日性比逐渐增大;当产卵周期进入产卵第 30 ~ 35 天后,所产子代几乎全为雄性。这与其他蓟马的研究结果类似。据报道,西花蓟马[38] 和美洲棘蓟马(*Echinothrips americanus*)[39] 的子代性比也与亲代雌虫的年龄有关,在产卵期间的最后阶段所产子代的雄性比较高。很多寄生蜂也有类似的现象,子代雄性比随雌蜂年龄的增长而增加,其原因有多种,如精子逐渐消耗殆尽、精子的衰老、精子活力的下降、雌虫受精囊内精子释放能力的失控等[40−42]。

3.3 MeSA 气味浓度与蓟马繁殖能力的关系 MeSA 熏蒸处理已交配普通大蓟马雌虫对繁殖力的影响与 MeSA 气味浓度有着密切的关系。当 MeSA 气味浓度较低(0.000 5 ~ 0.001 μL·L^{-1})时,普通大蓟马繁殖力下降,而高浓度 MeSA(0.05 μL·L^{-1})气味展现出中性效果。通常,杀虫剂亚致死剂量对昆虫的影响呈现出双相剂量—效应(biphasic dose-response),即低剂量起刺激作用,而高剂量表现为抑制作用[43−44]。例如,LC_{10} 多杀菌素处理西花蓟马敏感品系雌虫能提高其繁殖力,LC_{25} 多杀菌素则导致繁殖力下降[45]。同样地,Morse 和 Zareh[46] 发现,4 种化学杀虫剂在较高浓度条件下能抑制柑橘蓟马(*Scirtothrips citri*)的繁殖,而低浓度对其繁殖力没有影响。但是,在本研究中,MeSA 气味对普通大蓟马繁殖力展现出了不一样的剂量—效应关系。这种“低剂量抑制、高剂量无作用”的内在机理尚不明了,有待进一步探究。推测,这可能跟蓟马对 MeSA 气味的趋性有一定的关系。Chermenskaya 等[22] 曾利用嗅觉仪测定发现,低浓度 MeSA 气味对西花蓟马雌虫有明显的驱避作用,而高浓度 MeSA 对其趋向行为没有显著影响。因此,有必要在未来对普通大蓟马雌虫的趋化性与 MeSA 气味浓度的关系展开进一步研究。

在蓟马 IPM 实践中,环境友好、绿色防控对策广受重视与期待[1,47]。有关挥发性化合物或植物精油对蓟马的影响已成为蓟马研究领域中的一个热点[17,48−50]。MeSA 气味对普通大蓟马繁殖的低浓度抑制效应给我们的启示是:为了全面了解某种挥发物对蓟马的影响,不能忽视挥发物亚致死浓度所起的作用。的确,挥发物或植物精油对蓟马等害虫可展示出多重亚致死效应(驱避、拒食、阻止产卵等)[51−52]。因此,随着研究的深入,寻找到能使蓟马繁殖力大幅下降或性比高度偏雄的挥发物将会为蓟马的防控提供新的手段。

4 结　论

本研究利用成虫熏蒸法,评价了不同浓度水杨酸甲酯(MeSA)气味对已交配普通大蓟马繁殖能力和性别分配的直接影响。浓度为 0.000 5 ~ 0.05 μL·L^{-1} 的 MeSA 熏蒸处理亲代雌虫对该虫的性别分配没有干扰作用。3 个 MeSA 气味处理的日性比动态与对照基本相似。低浓度气味(0.000 5 μL·L^{-1} MeSA)和中浓度气味(0.001 μL·L^{-1} MeSA)能显著降低其子代雌虫的数量,中浓度气味对子代雄虫的产生也展现出了显著的抑制作

用。高浓度气味(0.05 μL·L^{-1} MeSA)则对上述繁殖参数均没有显著影响。此结论对进一步拓展 MeSA 在普通大蓟马 IPM 实践中的潜在价值具有指导意义。

参考文献:

[1] Tang L D, Guo L H, Wu J H, et al. Thrips in genus *Megalurothrips* (Thysanoptera: Thripidae): biodiversity, bioecology, and IPM [J]. Journal of Integrated Pest Management, 2023, 14(1): 8. https://doi.org/10.1093/jipm/pmad006

[2] Ivey C B, Hahn P G, Vallad G V, et al. Abundance of *Megalurothrips usitatus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae) and other thrips in commercial snap bean fields in the Homestead Agricultural Area (HAA)[J]. Florida Entomologist, 2025, 108(1): 20240075. https://doi.org/10.1515/flaent-2024-0075

[3] 邱海燕, 刘奎, 李鹏, 等. 豆大蓟马的生物学特性研究[J]. 热带作物学报, 2014, 35(12): 2437−2441. https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2561.2014.12.021

[4] 谭珂, 李曼娟, 陈鑫, 等. 普通大蓟马产卵选择性初探[J]. 热带作物学报, 2015, 36(3): 587−590. https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2561.2015.03.024

[5] 谭珂, 陈鑫, 李曼娟, 等. 普通大蓟马在 3 种豆类作物上的实验种群生命表研究[J]. 热带作物学报, 2015, 36(5): 956−960. https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2561.2015.05.021

[6] 罗亚丽, 施丹, 乔雪莹, 等. 杀虫剂亚致死浓度对普通大蓟马繁殖的影响[J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(2): 427−433. https://doi.org/10.7679/j.issn.2095-1353.2020.048

[7] Wang K, Shipp J L. Simulation model for population dynamics of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse cucumber [J]. Environmental Entomology, 2001, 30(6): 1073−1081. https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.6.1073

[8] Tang L D, Yan K L, Fu B L, et al. The life table parameters of *Megalurothrips usitatus* (Thysanoptera: Thripidae) on four leguminous crops[J]. Florida Entomologist, 2015, 98(2): 620−625. https://doi.org/10.1653/024.098.0235

[9] Wang H T, Huang L F, Zheng X L, et al. An age-stage, two-sex life table for *Megalurothrips usitatus* feeding on eight different crop plants [J]. Agronomy, 2024, 14(10): 2283. https://doi.org/10.3390/agronomy14102283

[10] Li T T, Liu Y, Liang X, et al. Potential influence of supplemental nutrients intake by adults on the development, fecundity, and population growth of *Megalurothrips usitatus* (Thysanoptera: Thripidae) offspring[J]. Journal of Economic Entomology, 2025, 118(2): 646−654. https://doi.org/10.1093/jee/toaf016

[11] 禹云超, 郅军锐, 黄万庆, 等. 西花蓟马与豆大蓟马成虫数量和性别对彼此产卵量的影响[J]. 植物保护学报, 2020, 47(3): 508−516. https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2020.2019152

[12] 张仲, 邹游兴, 但建国. 施氮水平对普通大蓟马繁殖及子代性比的影响[J]. 热带生物学报, 2024, 15(1): 79−84. https://doi.org/10.15886/j.cnki.rdswxb.20230061

[13] 杨鹤鸣, 叶子龙, 黄慧秀, 等. 普通大蓟马子代性比对同种成虫气味的响应[J]. 热带生物学报, 2022, 13(6): 628−633. https://doi.org/10.15886/j.cnki.rdswxb.2022.06.013

[14] Jin H F, Wang C Z, Jiang W, et al. Effect of ultraviolet on the environmental adaptability of *Megalurothrips usitatus* (Thysanoptera: Thripidae)[J]. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2024, 116(4): e22141. https://doi.org/10.1002/arch.22141

[15] 陈钰晴, 任英凯, 叶子龙, 等. 章鱼胺和酪胺及其受体拮抗剂对普通大蓟马子代性比的影响[J]. 应用昆虫学报, 2023, 60(5): 1519−1525. https://doi.org/10.7679/j.issn.2095-1353.2023.145

[16] Kirk W D J, De kogel W J, Koschier E H, et al. Semiochemicals for thrips and their use in pest management [J]. Annual Review of Entomology, 2021, 66: 101−119. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-022020-081531

[17] Cubillos-quijano L G, Díaz M, Coy-barrera E, et al. Untargeted volatile profiling identifies key compounds driving the attraction of western flower thrips to *Alstroemeria* cultivars[J]. Insects, 2025, 16(2): 216. https://doi.org/10.3390/insects16020216

[18] Meents A K, Mithöfer A. Plant–plant communication: is there a role for volatile damage-associated molecular patterns?[J]. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 583275. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.583275

[19] Gondor O K, Pál M, Janda T, et al. The role of methyl salicylate in plant growth under stress conditions [J]. Journal of Plant Physiology, 2022, 277: 153809. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2022.153809

[20] Gong Q, Wang Y J, He L F, et al. Molecular basis of methyl-salicylate-mediated plant airborne defence [J]. Nature, 2023, 622(7981): 139−148. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06533-3

[21] Bergman M E, Huang X Q, Baudino S, et al. Plant volatile organic compounds: Emission and perception in a changing world[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2025, 85: 102706. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2025.102706

[22] Chermenskaya T D, Burov V N, Maniar S P, et al. Behavioural responses of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande): to volatiles from three aromatic plants[J]. International Journal of Tropical Insect Science, 2001, 21(1): 67−72. https://doi.org/10.1017/S1742758400020063

[23] Koschier E H, Hoffmann D, Riefler J. Influence of salicylaldehyde and methyl salicylate on post-landing behaviour of *Frankliniella occidentalis* Pergande [J]. Journal of Applied Entomology, 2007, 131(5): 362−367. https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2007.01191.x

[24] Allsopp E, Prinsloo G J, Smart L E, et al. Methyl salicylate, thymol and carvacrol as oviposition deterrents for

Frankliniella occidentalis (Pergande) on plum blossoms [J]. Arthropod-Plant Interactions, 2014, 8(5): 421−427. https://doi.org/10.1007/s11829-014-9323-2

[25] 李彩虹, 张涛, 陆宴辉. 烟蓟马成虫对不同植物挥发物的行为选择[J]. 应用昆虫学报, 2022, 59(1): 40−49. https://doi.org/10.7679/j.issn.2095-1353.2022.004

[26] 金奕轩, 黄欣怡, 李思涵, 等. 西花蓟马对 12 种植物挥发物的选择行为[J]. 植物保护学报, 2023, 50(3): 676−683. https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2023.2022071

[27] Abana U C, Amarasekare K G. Efficacy of herbivore-induced plant volatile methyl salicylate in evaluating the seasonal abundance of herbivorous thrips (Thysanoptera: Thripidae) in sweet pepper [J]. Insects, 2024, 15(3): 156. https://doi.org/10.3390/insects15030156

[28] Lu X P, Liu J H, Weng H, et al. Efficacy of binary combinations between methyl salicylate and carvacrol against thrips *Anaphothrips obscurus*: laboratory and field trials[J]. Pest Management Science, 2020, 76(2): 589−596. https://doi.org/10.1002/ps.5551

[29] 牟峰, 郅军锐, 从春蕾, 等. 外源茉莉酸和水杨酸甲酯对西花蓟马生长发育和种群动态的影响[J]. 植物保护, 2014, 40(6): 70−74. https://doi.org/10.3969/j.issn.0529-1542.2014.06.013

[30] Zheng X, Chen Y, Zhao L H, et al. Tripartite interactions between jasmonic/salicylic acid pathways, western flower thrips, and thrips-transmitted tomato zonate spot virus infection in *Capsicuum annuum*[J]. Arthropod-Plant Interactions, 2019, 13(2): 289−297. https://doi.org/10.1007/s11829-019-09683-2

[31] Lee J C. Effect of methyl salicylate-based lures on beneficial and pest arthropods in strawberry[J]. Environmental Entomology, 2010, 39(2): 653−660. https://doi.org/10.1603/EN09279

[32] Salamanca J, Souza B, Kyryczenko-roth V, et al. Methyl salicylate increases attraction and function of beneficial arthropods in cranberries[J]. Insects, 2019, 10(12): 423. https://doi.org/10.3390/insects10120423

[33] Van den boom C E M, Van beek T A, Posthumus M A, et al. Qualitative and quantitative variation among volatile profiles induced by *Tetranychus urticae* feeding on plants from various families[J]. Journal of Chemical Ecology, 2004, 30(1): 69−89. https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000013183.72915.99

[34] Qualley A V, Dudareva N. Aromatic volatiles and their involvement in plant defense[M]//SCHALLER A. Induced plant resistance to herbivory. Dordrecht: Springer, 2008: 409-432. doi:10.1007/978-1-4020-8182-8_20

[35] Yang L L, Wang B, Shen J, et al. Comparative morphology and plant volatile responses of antennal sensilla in *Cinara cedri* (Hemiptera: Lachninae): *Eriosoma lanigerum* (Hemiptera: Eriosomatinae): and *Therioaphis trifolii* (Hemiptera: Calaphidinae)[J]. Frontiers in Cellular Neuroscience, 2023, 17: 1162349. https://doi.org/10.3389/fncel.2023.1162349

[36] Guarino S, Arif M A, Cerasa G, et al. Methyl salicylate as a dose-dependent fumigant against common stored product pests: a comparative laboratory study[J]. Journal of Stored Products Research, 2025, 114: 102716. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2025.102716

[37] Enan E. Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 2001, 130(3): 325-337. doi:10.1016/S1532-0456(01)00255-1

[38] Higgins C J, Myers J H. Sex ratio patterns and population dynamics of western flower thrips(Thysanoptera: Thripidae)[J]. Environmental Entomology, 1992, 21(2): 322−330. https://doi.org/10.1093/ee/21.2.322

[39] Li X W, Jiang H X, Zhang X C, et al. Post-mating interactions and their effects on fitness of female and male *Echinothrips americanus* (Thysanoptera: Thripidae): a new insect pest in China[J]. PLoS One, 2014, 9(1): e87725. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087725

[40] King B H. Offspring sex ratios in parasitoid wasps[J]. The Quarterly Review of Biology, 1987, 62(4): 367−396. https://doi.org/10.1086/415618

[41] Chevrier C, Bressac C. Sperm storage and use after multiple mating in *Dinarmus basalis* (Hymenoptera: Pteromalidae)[J]. Journal of Insect Behavior, 2002, 15(3): 385−398. https://doi.org/10.1023/A:1016269210140

[42] Liu P C, Wei H X, Cao D D, et al. Relationships amongst sex ratio of progeny in *Anastatus disparis* (Hymenoptera: Eupelmidae): sperm depletion and decreased fecundity[J]. Applied Entomology and Zoology, 2020, 55(1): 25−30. https://doi.org/10.1007/s13355-019-00648-8

[43] Cutler G C. Insects, insecticides and hormesis: evidence and considerations for study[J]. Dose-response, 2012, 11(2): 154−177. https://doi.org/10.2203/dose-response.12-008.Cutler

[44] Cutler G C, Guedes R N C. Occurrence and significance of insecticide-induced hormesis in insects[M]//Duke S O, Kudsk P, Solomon K. Effects on the environment and target and non-target organisms. Washington: American Chemical Society, 2017: 101-119. https://doi.org/10.1021/bk-2017-1249.ch008

[45] Gong Y H, Xu B Y, Zhang Y J, et al. Demonstration of an adaptive response to preconditioning *Frankliniella occidentalis* (Pergande) to sublethal doses of spinosad: a hormetic-dose response[J]. Ecotoxicology, 2015, 24(5): 1141−1151. https://doi.org/10.1007/s10646-015-1461-5

[46] Morse J G, Zareh N. Pesticide-induced hormoligosis of citrus thrips (Thysanoptera: Thripidae) fecundity[J]. Journal of Economic Entomology, 1991, 84(4): 1169−1174. https://doi.org/10.1093/jee/84.4.1169

[47] Mouden S, Sarmiento K F, Klinkhamer P G, et al. Integrated pest management in western flower thrips: Past, present and future[J]. Pest Management Science, 2017, 73(5): 813−822. https://doi.org/10.1002/ps.4531

[48] Koschier E H. Essential oil compounds for thrips con-

trol–a review[J]. Natural Product Communications, 2008, 3(7): 1171−1182. https://doi.org/10.1177/1934578X0800300726

[49] Durr T D, Stratton C A, Dosoky N S, et al. Shared phytochemicals predict efficacy of essential oils against western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) in the greenhouse[J]. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2022, 9(1): 62. https://doi.org/10.1186/s40538-022-00328-w

[50] Wondimagegn A W. Role of aromatic plants in the integrated pest management (IPM) of *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae)[J]. African Journal of Agricultural Research, 2022, 18(3): 238−245. https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14622

[51] Stepanycheva E, Petrova M, Chermenskaya T, et al. Fumigant effect of essential oils on mortality and fertility of thrips *Frankliniella occidentalis* Perg[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(30): 30885−30892. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06239-y

[52] Chang Y R, Harmon P F, Treadwell D D, et al. Biocontrol potential of essential oils in organic horticulture systems: From farm to fork[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 8: 805138. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.805138

Reproductive response in mated females of *Megalurothrips usitatus* (Bagrall) (Thysanoptera: Thripidae) upon exposure to methyl salicylate odor

Cao Ran#, Qiao Tingting, Zou Youxing, Dan Jianguo*

（School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China）

Abstract: Bean flower thrips, *Megalurothrips usitatus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae), is one of the economically important insect pests of leguminous crops and is very difficult to control. An attempt was made to determine whether reproduction and sex allocation in this thrips is affected by methyl salicylate (MeSA) odor for its potential application in IPM practice. One-day-old mated females were exposed to MeSA odor at concentrations of 0.0005, 0.001, and 0.05 $\mu L \cdot L^{-1}$, respectively, while unexposed females served as control. The sections of young cowpea pods were provided as food and egg-laying sites for the mated females, and replaced daily. Their offspring were reared without MeSA odor exposure until adult eclosion. The results showed that the sex ratio (proportion male) of the offspring for all the three MeSA treatments ranged from 0.33 to 0.42, which was not significantly different from that of the control. However, the number of adult female offspring decreased significantly down to approximately 103 per female upon exposure to 0.0005 and 0.001 $\mu L \cdot L^{-1}$ MeSA. The latter treatment also caused a significant reduction in the number of adult male offspring with a value of 50.17 per female. In contrast, 0.05 $\mu L \cdot L^{-1}$ MeSA odor did not trigger any significant change in above reproductive parameters. These results confirm that MeSA odor exposure does not alter the offspring sex ratio of mated females of *M. usitatus*, but with a low-dose inhibitory effect on their offspring production, implying that low-dose MeSA may be used as an environmentally friendly tactic for control of the bean flower thrips.

Keywords: *Megalurothrips usitatus*; *Vigna unguiculata*; methyl salicylate; reproduction; sex ratio

(责任编辑:张　瑁)