

网络出版时间:2017-08-21 13:50

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.10.012

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170821.1350.024.html>

麦长管蚜对蚜害诱导小麦挥发物及蚜虫报警信息素的行为反应

李时荣, 尚哲明, 刘德广, 崔晓宁

(西北农林科技大学 植物保护学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】探究小麦蚜害诱导挥发物与蚜虫报警信息素反- β -法尼烯(E β F)对麦长管蚜(*Sitobion avenae* Fabricius)行为反应的影响,为麦长管蚜的绿色防治提供依据。【方法】采用四臂嗅觉仪,测试不同质量浓度小麦蚜害诱导挥发物 6-甲基-5-庚烯-2-酮(MHO)、6-甲基-5-庚烯-2-醇(MHOH)、水杨酸甲酯(MeSA)和蚜虫报警信息素(E β F)对有翅型麦长管蚜行为反应的影响;在此基础上,将上述化合物按各自对麦长管蚜具备最佳驱避效果的质量浓度等体积混合,分析或比较不同混合物对麦长管蚜行为反应的影响;最后,比较 MHOH、E β F 及二者混合物对有翅型麦长管蚜 F₁ 代翅型分化的影响。【结果】MHO、MHOH、MeSA 与 E β F 分别在 100, 1, 1, 10 ng/ μ L 时对有翅型麦长管蚜具备最佳驱避效果;小麦蚜害诱导挥发物两两混合或三者混合后,对该蚜虫在处理臂与对照臂的停留时间无显著影响,丧失了对麦长管蚜的驱避作用;MHOH 或 MeSA 与 E β F 混合后对麦长管蚜的驱避作用丧失, MHO 与 E β F 的混合物对麦长管蚜仍然有强烈的驱避作用。翅型分化试验结果表明, E β F 处理的麦长管蚜 F₁ 代有翅蚜率明显增加; MHOH 与 E β F 混合后,不能引起有翅型麦长管蚜 F₁ 代有翅蚜率增加。【结论】小麦蚜害诱导挥发物的不同组分对麦长管蚜的行为反应影响存在差异,小麦蚜害诱导挥发物与蚜虫报警信息素之间可能存在相互作用。

【关键词】 麦长管蚜; 诱导挥发物; 行为反应; 翅型分化

【中图分类号】 Q968.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)10-0094-07

Behavioral responses of *Sitobion avenae* to aphid alarm pheromone and wheat volatiles induced by aphid feeding

LI Shirong, SHANG Zheming, LIU Deguang, CUI Xiaoning

(College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the behavioral responses of winged *Sitobion avenae* Fabricius to aphid alarm pheromone and wheat volatiles induced by aphid feeding. 【Method】 A four-arm olfactometer was used to determine the behavioral responses of winged *S. avenae* exposed to aphid alarm pheromone (E β F) and wheat volatiles induced by aphid feeding including 6-methyl-5-hepten-2-one (MHO), 6-methyl-5-hepten-2-ol (MHOH) and methyl salicylate (MeSA) at different concentrations. Then the repellent effect of mixtures of two or three chemicals at their best concentrations on *S. avenae* was determined. At last, the effects of MHOH, E β F and their mixture on winged offspring F₁ were compared. 【Result】 The concentrations of E β F, MHO, MHOH and MeSA with the best repellent effects for the semiochemicals were 10, 100, 1 and 1 ng/ μ L, respectively. All mixtures of two or three wheat volatiles showed weaker repellent effect on *S. avenae* compared to single volatile treatments. Compared to E β F, the mixtures of MeSA

【收稿日期】 2016-06-03

【基金项目】 国家自然科学基金面上项目(31572002);西北农林科技大学科研业务费项目(QN2011059)

【作者简介】 李时荣(1990—),女,山西晋中人,硕士,主要从事蚜虫生态相关研究。E-mail:769320557@qq.com

【通信作者】 刘德广(1972—),男,湖北襄阳人,教授,博士生导师,主要从事农林害虫的化学生态学、分子生态学及综合治理研究。E-mail:dgliu@nwsuaf.edu.cn

or MHOH with E β F reduced the repellent effects of E β F. However, the mixture of MHO with E β F still showed strong repellent effects. In addition, wing dimorphism experiments indicated that E β F alone increased the ratio of *S. avenae*'s winged offspring F₁, and the mixture of the two compounds could not.

【Conclusion】The effects of different wheat volatiles induced by aphid feeding on the behavioral response of *S. avenae* were different and there might be some interactions between aphid alarm pheromone and wheat volatiles.

Key words: *Sitobion avenae* Fabricius; induced volatiles; behavioral response; wing dimorphism

植物在自然状态下会释放各种挥发物,这些挥发物在植食性昆虫的取食、产卵、寄主识别等方面发挥着重要作用^[1]。植物的挥发物组成及各组分相对含量并非一成不变,植食性昆虫的取食能诱导植物产生特异性挥发物,即虫害诱导挥发物(Herbivore induced plant volatiles, HIPVs)。HIPVs有多种功能,如驱避植食性昆虫、为天敌昆虫提供信号甚至能警告邻近未受侵害的植物^[2]。因此, HIPVs可在大尺度范围内调节不同生态系统中植物与昆虫、植物与微生物、虫害植物与健康植物或植物虫害部位与健康部位之间的互作关系^[3]。自 20 世纪 80 年代以来,已报道 50 多种植物与 60 多种植食性昆虫存在相互作用的现象,这些昆虫的取食均能诱导植物产生 HIPVs,而且能对不同营养级的生物产生影响^[4]。

小麦(*Triticum aestivum* L.)是世界上最重要的粮食作物之一^[5],国内外已对多种植食性昆虫取食小麦诱导产生的挥发物组分及其功能进行了研究。Quiroz 等^[6]研究表明,高密度的禾谷缢管蚜(*Rhopalosiphum padi* L.)(9 头/cm²)取食能诱导小麦释放特异性挥发物,这种挥发物对该蚜虫具有强烈的驱避作用,且这种驱避作用强于健康小麦对该蚜虫的吸引作用。刘勇等^[7]鉴定了麦长管蚜(*Sitobion avenae* Fabricius)取食后小麦所释放的挥发物,发现该蚜虫取食能诱导 6-甲基-5-庚烯-2-酮(6-methyl-5-hepten-2-one, MHO)、6-甲基-5-庚烯-2-醇(6-methyl-5-hepten-2-ol, MHOH)、水杨酸甲酯(Methyl salicylate, MeSA)、2-茨烯(2-camphene)等挥发物的产生和释放。但麦长管蚜仅对 MHO、MHOH、MeSA 等挥发物有明显的触角电位反应和行为反应,且这 3 种挥发物的单品对该蚜虫呈驱避作用^[8-9]。上述 3 种挥发物在自然界中普遍存在,但其在“小麦-麦长管蚜”系统中的功能仍然不清楚。

报警信息素是蚜虫所利用的另一种重要的信息化合物。蚜虫在遭受天敌攻击时,会从腹管分泌能引起同类逃逸的报警信息素。Bowers 等^[10]首次分

离了几种蚜虫的报警信息素,并鉴定报警信息素主要成分为反- β -法尼烯(*E*- β -farnesene, E β F)。Francis 等^[11]研究表明, E β F 是多种蚜虫报警信息素的唯一或主要组分,例如桃蚜(*Myzus persicae* Sulzer)、豌豆蚜(*Acyrtosiphon pisum* Harris)和麦长管蚜等。E β F 能引发多种蚜虫明显的行为反应,如在植物上正常进食的蚜虫感受到 E β F 后通常会停止进食、逃逸或从植物上坠落^[12]。E β F 作为报警信号不仅能影响同类个体的行为反应,而且也能影响其后代的种群扩散。Kunert 等^[13]研究发现,连续对 3 龄或 4 龄豌豆蚜无翅型个体进行 E β F 处理,能显著诱导其后代中有翅型比例的增加。Podjasek 等^[14]研究表明,仅在无翅型豌豆蚜的繁殖前期对其进行 E β F 处理,就能显著提高其后代中有翅型比例。此外,对麦长管蚜翅型分化的研究发现,将有翅成蚜进行高密度饲养能导致后代翅型比例显著增加,用 E β F 处理麦长管蚜 1 龄若蚜也能导致成蚜中有翅型数量增加^[15-16]。通常有翅蚜在生存环境适宜的情况下产生的有翅型后代极少,所以前人的研究集中于通过对无翅成蚜的处理来探讨 E β F 与蚜虫翅型分化的关系。E β F 能否诱导麦长管蚜有翅成蚜后代翅型分化的发生尚有待进一步研究,并且对蚜虫嗅觉感受机制的研究表明,蚜虫感受报警信息素的部位是触角,与感受植物挥发物的部位相同^[17-21]。自然界中多种信息化合物与报警信息素同时存在,所以, E β F 与蚜害诱导产生的 HIPVs 有无相互作用亦有待探究。

鉴于此,本研究将探讨 E β F 和小麦 HIPVs 对麦长管蚜行为反应的影响,分析 E β F 和 HIPVs 的相互作用,以此揭示这些信息化合物对麦长管蚜的生态学意义,为麦长管蚜的绿色防治提供新的理论支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试的麦长管蚜(*Sitobion avenae* Fabricius)

为在 $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $70\% \pm 5\%$ 、L:D=16 h:8 h 的条件下用矮抗 58 小麦饲养的孤雌系,通过维持种群较高密度以获得有翅型个体用于试验。

供试试剂主要为 6-甲基-5-庚烯-2-酮(成都化夏,99%)、6-甲基-5-庚烯-2-醇(Acros,99%)、水杨酸甲酯(福晨化学,99%)、反- β -法尼烯(Wako,85%)和正己烷(科密欧化学,色谱纯)。

1.2 试验方法

1.2.1 蚜虫的行为反应测定 麦长管蚜行为反应的预试验表明,与纯净空气相比,正己烷对麦长管蚜的行为反应没有影响($t=0.036$, $df=15$, $P>0.05$),故本试验不再设空白对照,将使用正己烷溶解各化合物,对各化合物测试时,仅以正己烷作为对照。具体方法如下:将 6-甲基-5-庚烯-2-酮、6-甲基-5-庚烯-2-醇、水杨酸甲酯和反- β -法尼烯分别溶于正己烷,配成质量浓度分别为 0.01, 0.1, 1, 10, 100 ng/ μL 的待测试剂,用四臂嗅觉仪测定麦长管蚜有翅成蚜对不同质量浓度试剂的行为反应。该试验在如下条件进行:温度 $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(70 \pm 5)\%$ 和光照强度 220 lx。在 4 个味源瓶中各放置 1 片 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 的滤纸,向其中 1 个味源瓶滴加 20 μL 待测试剂,其余 3 个添加 20 μL 正己烷作为空白对照。将 1 头有翅成蚜从嗅觉仪中央放入活动室,待其适应 30 s 后开始计时,每头观察 15 min,记录其在每个区域的停留时间。每测试 2 头蚜虫即旋转嗅觉仪 90° 以消除方位误差。每种试剂每个质量浓度最少设 16 次重复。重复试验前,用体积分数 80%乙醇与去离子水清洗嗅觉仪、味源瓶及其他装置,嗅觉仪自然风干,味源瓶于 180°C 烘干过夜后再次使用。

确定每种化合物对麦长管蚜的最佳驱避质量浓度后,将各化合物按能引起蚜虫最大驱避反应的质量浓度等体积混合,分别配制成 MHO+MHOH+MeSA、MHOH+MeSA、MHO+MeSA、MHO+MHOH、E β F+MHOH、E β F+MHO、E β F+MeSA 的混合物,以四臂嗅觉仪测定蚜虫对不同混合物的行为反应。测定方法同 1.2.1 节。

1.2.2 翅型分化诱导试验 根据蚜虫行为反应试验结果,选择 MHOH 和 E β F 进行蚜虫翅型分化诱导试验。为防止蚜虫逃跑,本试验中所有用来饲养蚜虫的小麦都种植在直径 6 cm、高 7 cm 的塑料杯中,每杯 1 株,杯上放置由透明塑料片与 0.25 mm 尼龙网构成的直径 6 cm、高 15 cm 的网罩。具体试

验方法如下:将 10 头 3 龄或 4 龄有翅型若蚜(F_0)转移到三叶期小麦上,在小麦植株附近设长度 13 cm 左右的竹签,竹签顶端粘 1 张 $1\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 的滤纸片,每天定时(09:00, 11:00, 13:00, 15:00 和 17:00)向滤纸片滴加 20 μL 信息化合物。由于正己烷(对照)对麦长管蚜的行为反应没有影响(见上述预试验结果),故本试验仅以正己烷处理作为对照,不再设空白对照。本试验的测试处理包括正己烷(对照)、MHOH、E β F 和 MHOH 与 E β F 混合物(等体积),每日滴加化合物的质量浓度均为上述行为试验中(1.2.1 节)各自的最佳驱避质量浓度。每添加 1 次信息化合物,即在室内固定场所放置 30 min,确保化合物每次以相同的速率挥发。待化合物挥发完全,再放入养虫室饲养。连续处理数天,直到所有若蚜发育为成蚜并开始产蚜,新产的若蚜记为 F_1 。每天定时将开始产蚜的有翅成蚜及其所产若蚜转移到新的小麦植株上。为了排除拥挤因素对试验的干扰,每株小麦仅接 1 头有翅成蚜进行观察,待其产蚜数达到 10 头即移除成蚜 F_0 ;待若蚜 F_1 发育为成蚜,记录 10 头若蚜中有翅型的数量,计算 F_1 代有翅蚜率。每处理设 24 个重复。

1.3 数据分析

试验数据用“平均值+标准误”表示,用 IBM SPSS 20.0 进行相应的分析检验。将蚜虫在处理臂停留时间与在对照臂停留时间的 1/3 做两相关样本的非参数检验(Wilcoxon 符号秩和检验,检验量用 W 表示),比较不同质量浓度化合物对蚜虫行为反应的影响;或将上述时间转换为占总时间的百分比,采用同样的方法进行分析,比较不同信息化合物组合对蚜虫行为反应的影响。用 Kruskal-Wallis 单因素方差分析做多独立样本非参数检验(检验量用 H 表示),比较 MHOH、E β F 及二者的混合物对有翅成蚜 F_1 代翅型分化诱导作用的差异。

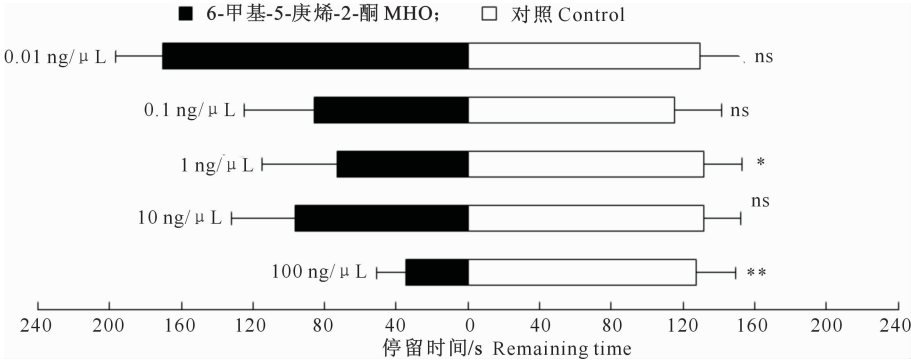
2 结果与分析

2.1 麦长管蚜对不同化合物单品的行为反应

麦长管蚜对 3 种挥发物单品与反- β -法尼烯的嗅觉行为反应如图 1~4 所示。由图 1 可知,在质量浓度为 1 ng/ μL ($W=-2.199$, $P<0.05$) 和 100 ng/ μL ($W=2.68$, $P<0.01$) 时, MHO 对麦长管蚜有显著的驱避作用,其他质量浓度 MHO 对麦长管蚜的行为选择无显著影响。在测试质量浓度范围内, MHOH 在质量浓度为 1 ng/ μL 时对麦长管蚜有显著驱避作用($W=2.10$, $P<0.05$) (图 2), MeSA

亦在 1 ng/ μ L 时对麦长管蚜有显著驱避作用($W=2.13, P<0.05$)(图 3),而在其他质量浓度时二者均对麦长管蚜的行为选择无显著影响。E β F 在 0.1~10 ng/ μ L 时对麦长管蚜的选择行为有显著影响($P<$

0.05)(图 4),其中在 10 ng/ μ L 时对麦长管蚜行为反应影响最大($W=3.17, P<0.01$)。在测试质量浓度范围内,MHO、MHOH、MeSA、E β F 对麦长管蚜的最佳驱避质量浓度分别为 100,1,1,10 ng/ μ L。



* 和 ** 分别表示处理和对照间差异显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$),ns 表示二者差异不显著;下图同

* and ** indicate significant difference ($P<0.05$) or extreme significant ($P<0.01$) between treatments and control, ns indicates insignificant. The same below

图 1 麦长管蚜对不同质量浓度 MHO 的行为反应

Fig. 1 Behavior response of *Sitobion avenae* exposed to MHO at different mass concentrations

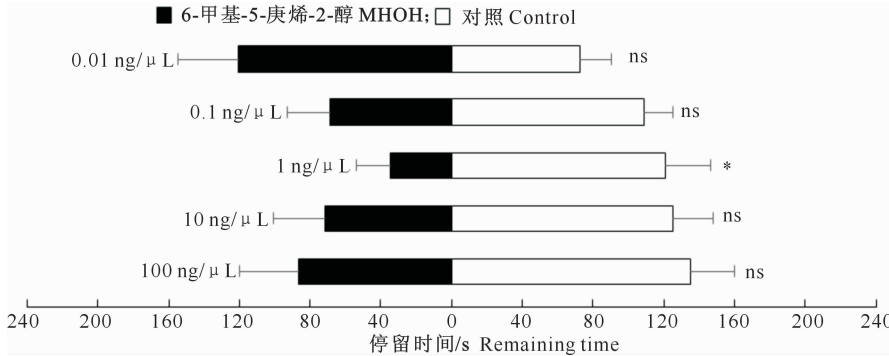


图 2 麦长管蚜对不同质量浓度 MHOH 的行为反应

Fig. 2 Behavior response of *Sitobion avenae* exposed to MHOH at different mass concentrations

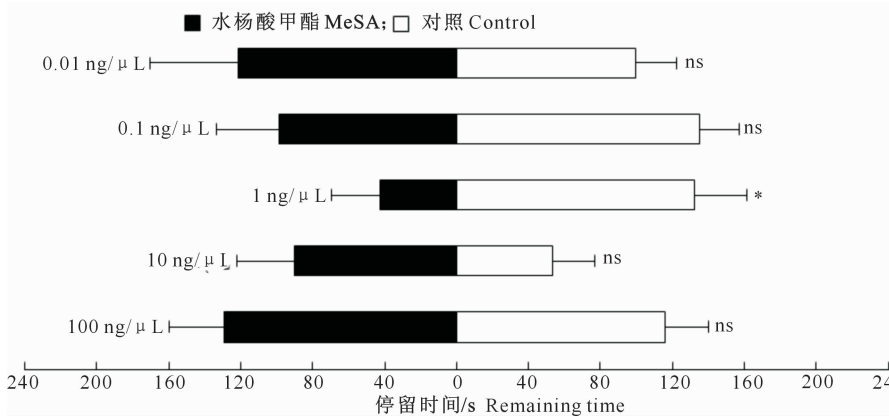


图 3 麦长管蚜对不同质量浓度 MeSA 的行为反应

Fig. 3 Behavior response of *Sitobion avenae* exposed to MeSA at different mass concentrations

2.2 麦长管蚜对不同混合物的行为反应

将各化合物按照其对麦长管蚜的最佳驱避质量

浓度等体积混合后,混合物对麦长管蚜的驱避作用发生了变化(图 5)。与 3 种单品的驱避作用相比,

MHO、MHOH、MeSA 三者组成的混合物对麦长管蚜无驱避作用;MHOH 与 MeSA 混合后虽然对麦长管蚜无显著的驱避作用($P>0.05$),但是仍有驱避效果;MHO 与 MeSA 以及 MHO 与 MHOH 的混合物对麦长管蚜均无驱避作用。由此可见,蚜害诱导挥发物混合后,彼此之间发生了拮抗,削弱了化合物对麦长管蚜的驱避作用。

E β F 是蚜虫报警信息素的主要成分,较低的质量浓度即可引起蚜虫明显的行为反应。本研究中,

E β F 在较低质量浓度($10\text{ ng}/\mu\text{L}$)时对麦长管蚜产生强烈的驱避作用,然而,当 E β F 在该质量浓度下与各蚜害诱导挥发物按照各自对麦长管蚜的最佳驱避质量浓度等体积混合后,对麦长管蚜的驱避作用发生了变化。其中,MHO 与 E β F 混合后仍对麦长管蚜有极显著的驱避作用($W=2.77, P<0.01$),MHOH、MeSA 与 E β F 的混合物对麦长管蚜都丧失了驱避作用($P>0.05$),表明 MHOH 和 MeSA 都干扰了麦长管蚜对 E β F 的识别或感受。

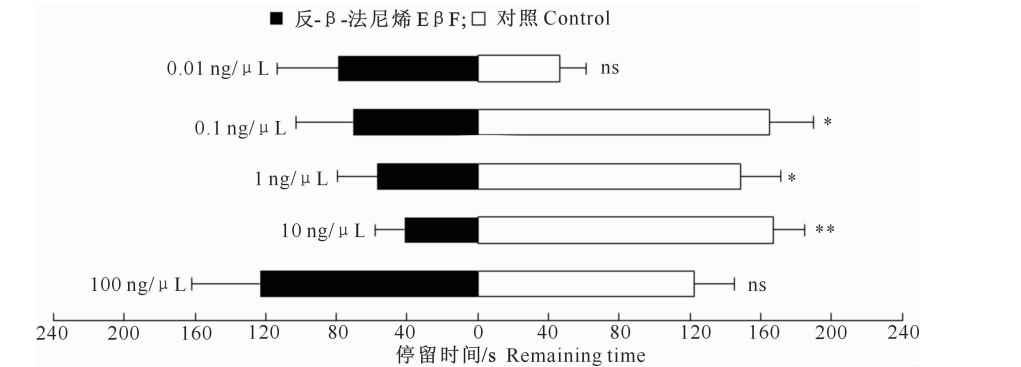


图 4 麦长管蚜对不同质量浓度 E β F 的行为反应

Fig. 4 Behavior response of *Sitobion avenae* exposed to E β F at different mass concentrations

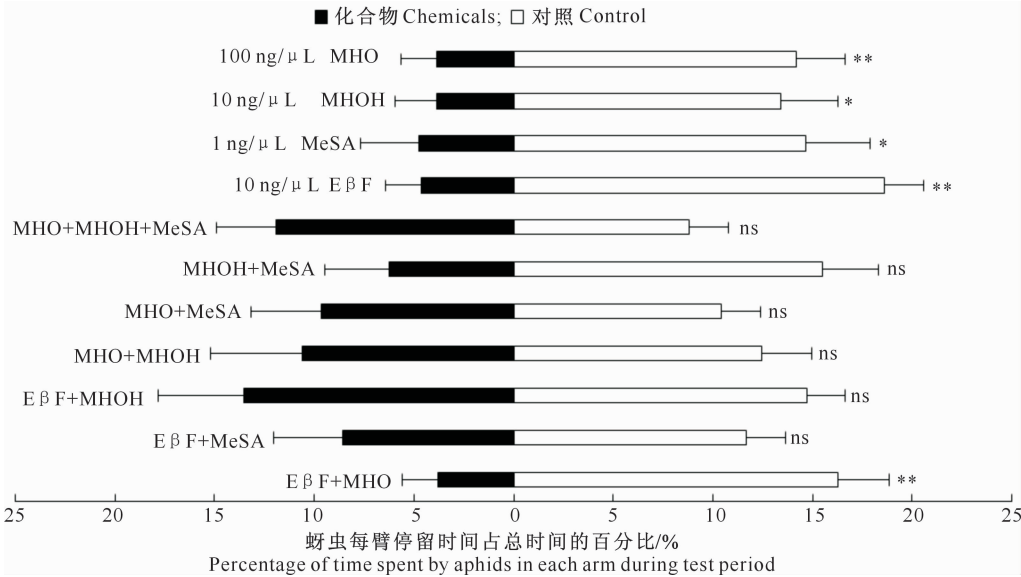


图 5 化合物单品或混合处理条件下麦长管蚜在处理臂和对照臂的停留时间百分比

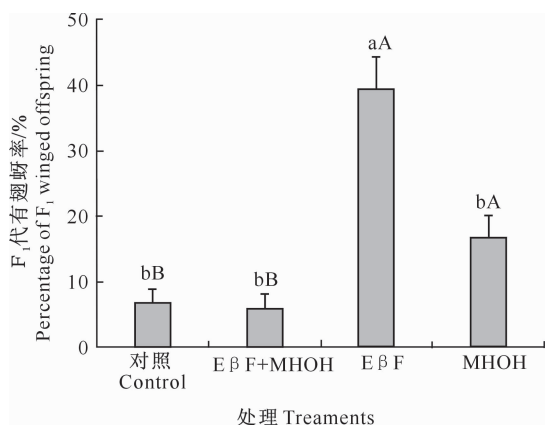
Fig. 5 Percentage of time spent by *Sitobion avenae* in treatments and control when exposed to same chemicals or their mixtures

2.3 E β F 及 MHOH 对麦长管蚜 F_1 代翅型分化的影响

Kruskal-Wallis 单因素方差分析表明,E β F、MHOH 及二者的混合物(E β F+MHOH)对麦长管蚜 F_1 代有翅蚜率的诱导作用存在显著差异($H=33.804, df=3, P<0.01$)(图 6)。修正后的成对检

验表明,E β F 诱导的 F_1 代有翅蚜率极显著高于对照($t=-37.604, P<0.01$),显著高于 MHOH 的诱导效果($t=22.417, P<0.05$),也极显著高于 MHOH +E β F 混合后的诱导效果($t=-38.729, P<0.01$);MHOH 处理的 F_1 有翅蚜率与对照差异极显著($P<0.01$),但 MHOH +E β F 混合处理的 F_1 有翅

蚜率与对照差异不显著($P>0.05$)。



图柱上标不同的大小写字母分别表示差异极显著 ($P<0.01$) 和差异显著 ($P<0.05$)

Different small letters and capital letter indicate significant difference ($P<0.05$) and extremely significant difference ($P<0.01$), respectively.

图 6 EβF 和 MHOH 对麦长管蚜 F₁ 代有翅蚜率的诱导作用

Fig. 6 Inducing effects of EβF and MHOH on F₁ winged offspring ratio

3 讨 论

HIPVs 对植食性昆虫可能有驱避作用,也可能呈现吸引作用^[22]。Delphia 等^[23]研究发现,烟草 (*Nicotiana tabacum* L.) 被西花蓟马 (*Frankliniella occidentalis* Pergande) 与烟芽夜蛾 (*Heliothis virescens* Fabricius) 共同取食后,释放的 HIPVs 对西花蓟马有显著的驱避作用。而被桃蚜取食的芜菁 (*Brassica rapa* L.) 尽管释放了含有能驱避桃蚜组分的 HIPVs,却仍能作为寄主定位信号吸引桃蚜^[24]。Webster 等^[25]研究认为,植物挥发物对昆虫的作用取决于其所处的环境,即当一种组分单独存在而其他组分缺失时,植食性昆虫可能利用这种单独存在的挥发物作为非寄主植物的识别信号;当寄主植物挥发物的多种组分以一定比例同时存在时,植食性昆虫可能会将这种混合物作为寄主识别的信号,而且多种挥发物的同时存在可以“逆转”单一挥发物对昆虫行为的影响。本研究中所用的 MHO、MHOH、MeSA 均为蚜害小麦的 HIPVs 组分,以单品测试其对麦长管蚜行为反应的影响时,均表现为驱避作用。然而,将这 3 种蚜害诱导挥发物组分两两或全部按照各自对麦长管蚜最佳驱避质量浓度等体积混合后,都丧失了对麦长管蚜的驱避作用,甚至呈现微弱的吸引效果,该结果与前人所得结果类似^[9]。当源自小麦的挥发物,如 MHO、MHOH、MeSA 单独存在时,麦长管蚜可能将之视为非寄主

存在的信号;随着物质种类的增加,混合物的信号特征与蚜害小麦更加接近,这可能是 3 种挥发物混合后对麦长管蚜驱避作用减弱的原因之一。本研究仅使用了 3 种挥发物,今后应当探索多种蚜害诱导的小麦挥发物混合对麦蚜行为反应的影响,找到能“逆转”驱避作用的物质种类及数量,这将有助于进一步了解麦蚜的寄主识别机理,从而找到更高效的绿色防治手段。

EβF 作为麦长管蚜报警信息素的唯一组分^[11],对麦长管蚜的行为反应有显著影响。本研究中,EβF 在 0.1~10 ng/μL 时对麦长管蚜有显著驱避作用。然而,当 EβF 分别与 3 种蚜害诱导的小麦挥发物按照各自对麦长管蚜的最佳驱避质量浓度等体积混合后,与各单品相比,仅 MHO 与 EβF 的混合物仍保持了对该虫显著的驱避作用,另外 2 种化合物与 EβF 的混合物都失去了对麦长管蚜的驱避作用。对麦长管蚜气味结合蛋白 (Odorant binding proteins, OBPs) 的研究发现,仅 SaveOBP7 能专一高效地结合 EβF,且 SaveOBP7 对植物挥发物 (如绿叶醇类、醛等) 也有较好的结合能力^[18]。本研究所采用的 3 种蚜害诱导挥发物中,仅 MHOH 是烯醇类化合物,与绿叶醇类的结构相似,可能其与 SaveOBP7 产生结合作用,从而干扰对 EβF 的识别。不过,能与 MHOH 结合的麦长管蚜气味结合蛋白尚未见诸报道,故相关机制仍需要进一步探讨。EβF 不仅能引起蚜虫明显的行为反应,而且也能使蚜虫后代有翅型比例增加^[26]。Kunert 等^[13]研究表明,EβF 对蚜虫后代翅型分化诱导作用的机理在于 EβF 能导致蚜虫走动频繁,增加种群内个体间接触频率,造成种群密度过大的假象,形成“类拥挤”的效应,使后代有翅型比例增加。本研究中,对有翅型麦长管蚜进行 EβF 处理,显著提高了 F₁ 代有翅蚜率,这与前人研究结果^[13]相吻合,符合“类拥挤”假说的推断。此外,与正己烷 (对照) 相比,MHOH 处理的 F₁ 代有翅型数量亦有所增加,这可能与该物质在最佳驱避质量浓度时 (1 ng/μL) 可使麦长管蚜种群产生“类拥挤”效应有关。MHOH 与 EβF 的混合物处理的麦长管蚜 F₁ 代中有翅型个体数量极低,与对照无显著差异,表明麦长管蚜对这种混合物无行为响应,这与嗅觉选择行为试验的结果相吻合,更进一步地证明 MHOH 干扰了麦长管蚜对 EβF 的识别。本研究仅测定了该化合物在 1 ng/μL 时对麦长管蚜翅型分化的诱导作用,今后应测定不同质量浓度及其他信息化合物对麦长管蚜翅型分化的诱导作用,以期为

蚜虫的综合治理提供新的依据。

鉴于 E β F 对蚜虫独特高效的驱避作用,国内外就 E β F 在蚜虫综合治理中的应用已经开展多项研究。Cui 等^[27]研究发现,在白菜(*Brassica rapa pekinensis*) 田中使用 E β F 能显著吸引瓢虫和寄生蜂,降低菜缢管蚜(*Lipaphis erysimi* Kaltenbach)和桃蚜的种群密度,从而减轻这 2 种蚜虫对白菜的危害。Bruce 等^[28]培育了能稳定释放高纯度 E β F 的转基因小麦,室内试验表明,该转基因株系既能显著驱避麦蚜,又能显著吸引蚜虫寄生蜂,对蚜虫呈现出理想的防控效果。与之相类似,蚜虫报警信息素感受抑制物在蚜虫综合治理中也有潜在的应用价值,将报警信息素抑制物与报警信息素联合使用,能干扰蚜虫种群对报警信号的感受,削弱蚜虫对天敌捕食的探测,提高天敌的捕食效率,有助于控制蚜虫种群规模^[29]。本研究仅筛选到了 6-甲基-5-庚烯-2-醇能干扰麦蚜对报警信息素的识别,后续的研究还需测试更多的蚜害诱导挥发物与报警信息素的相互作用,为麦蚜绿色防治提供新的策略。

[参考文献]

[1] Dicke M,Loon J J A. Multitrophic effects of herbivore-induced plant volatiles in an evolutionary context [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*,2000,97(3):237-249.

[2] Hare J D. Ecological role of volatiles produced by plants in response to damage by herbivorous insects [J]. *Annual Review of Entomology*,2011,56:161-180.

[3] Arimura G,Matsui K,Takabayashi J. Chemical and molecular ecology of herbivore-induced plant volatiles: proximate factors and their ultimate functions [J]. *Plant and Cell Physiology*,2009,50(5):911-923.

[4] Dicke M. Induced plant volatiles: plant body odours structuring ecological networks [J]. *New Phytologist*,2016,210(1):10-12.

[5] 赵明月,欧阳芳,张永生,等. 2000—2010 年我国小麦病虫害发生与为害特征分析 [J]. *生物灾害科学*,2015,38(1):1-6.

Zhao M Y,Ouyang F,Zhang Y S,et al. On occurrence characteristics and damage from diseases and insect pests in wheat in China during 2000—2010 [J]. *Biological Disaster Science*,2015,38(1):1-6.

[6] Quiroz A,Pettersson J,Pickett J A,et al. Semiochemicals mediating spacing behavior of bird cherry-oat aphid,*Rhopalosiphum padi* feeding on cereals [J]. *Journal of Chemical Ecology*,1997,23(11):2599-2607.

[7] 刘 勇,胡 萃,倪汉祥,等. 不同营养层次挥发物对燕麦蚜茧蜂寄主搜寻行为的影响 [J]. *应用生态学报*,2001,12(4):581-584.

Liu Y,Hu C,Ni H X,et al. Effects of volatiles from different

trophic level on foraging behavior of *Aphidius avenae* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2001,12(4):581-584.

[8] 刘 勇,陈巨莲,倪汉祥. 麦长管蚜和禾谷缢管蚜对小麦挥发物的触角电位反应 [J]. *昆虫学报*,2003,46(6):679-683.

Liu Y,Chen J L,Ni H X. Electroantennogram responses of *Sitobion avenae* and *Rhopalosiphum padi* to wheat plant volatiles [J]. *Acta Entomologica Sinica*,2003,46(6):679-683.

[9] 郭光喜,刘 勇. 麦长管蚜和禾谷缢管蚜对小麦植株挥发物及蚜害诱导挥发物的行为反应 [J]. *昆虫知识*,2005,42(5):534-536.

Guo G X,Liu Y. Behavioral responses of *Macrosiphum avenae* and *Rhopalosiphum padi* to wheat plant volatiles induced by aphid feeding [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*,2005,42(5):534-536.

[10] Bowers W S,Nault L R,Webb R E,et al. Aphid alarm pheromone: isolation, identification, synthesis [J]. *Science*,1972,117:1121-1122.

[11] Francis F,Vandermoten S,Verheggen F,et al. Is the (E)- β -farnesene only volatile terpenoid in aphids? [J]. *Journal of Applied Entomology*,2005,129(1):6-11.

[12] Pickett J A,Wadhams L J,Woodcock C M,et al. The chemical ecology of aphids [J]. *Annual Review of Entomology*,1992,37(1):67-90.

[13] Kunert G,Otto S,Röse U S R,et al. Alarm pheromone mediates production of winged dispersal morphs in aphids [J]. *Ecology Letters*,2005,8(6):596-603.

[14] Podjasek J O,Bosnjak L M,Brooker D J,et al. Alarm pheromone induces a transgenerational wing polyphenism in the pea aphid,*Acyrtosiphon pisum* [J]. *Canadian Journal of Zoology*,2005,83(8):1138-1141.

[15] 张方梅. 麦长管蚜翅型分化相关的生态学及 microRNA 水平的分子机理研究 [D]. 北京:中国农业科学院,2015.

Zhang F M. The molecular mechanism of wing dimorphism in english grain aphid,*Sitobion avenae*: from ecology to microRNA levels [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences,2015.

[16] 江珊珊,邓 青,范 佳,等. 麦长管蚜对 E-beta-法尼烯的嗅觉行为反应 [J]. *昆虫学报*,2015,58(7):776-782.

Jiang S S,Deng Q,Fan J,et al. Behavioral responses of *Sitobion avenae* (Hemiptera:Aphididae) to E- β -farnesene [J]. *Acta Entomologica Sinica*,2015,58(7):776-782.

[17] Kunert G,Weisser W W. The importance of antennae for pea aphid wing induction in the presence of natural enemies [J]. *Bulletin of Entomological Research*,2005,95(2):125-131.

[18] Zhong T,Yin J,Deng S,et al. Fluorescence competition assay for the assessment of green leaf volatiles and trans- β -farnesene bound to three odorant-binding proteins in the wheat aphid *Sitobion avenae* (Fabricius) [J]. *Journal of Insect Physiology*,2012,58(6):771-781.

- efficacy of several insecticides to *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) [J]. Plant Protection, 2015, 41(5): 221-224.
- [23] 唐平华, 陈国平, 朱明库, 等. 蚜虫防治技术研究进展 [J]. 植物保护, 2013, 39(2): 5-12.
Tang P H, Chen G P, Zhu M K, et al. Advances in aphid control technology [J]. Plant Protection, 2013, 39(2): 5-12.
- [24] 黄乾龙. 121 种植物提取物的杀蚜杀螨活性筛选 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
Huang Q L. Screening for aphidicidal and acaricidal activity of 121 plant extracts [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2012.
- [25] 李 丛, 邓 琳, 潘昌灿, 等. 井冈山常见药用植物资源调查 [J]. 湖北农业科学, 2015(5): 1117-1124.
Li C, Deng L, Pan C C, et al. Investigating the common medicinal plants resources in Jinggang Mountain [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015(5): 1117-1124.
- [26] 徐文芬, 何顺志. 贵阳市菊科药用植物新资源 [J]. 贵州农业科学, 2006(6): 27-29.
Xu W F, He S Z. New resources of medicinal plants of compositae in Guiyang [J]. Guizhou Agricultural Science, 2006(6): 27-29.
- [27] Zhao G H, Cao Z F, Zhang W, et al. The sesquiterpenoids and their chemotaxonomic implications in *Senecio* L. (Asteraceae) [J]. Biochemical Systematics & Ecology, 2015, 59: 340-347.
- [28] 吴文君, 刘惠霞, 胡兆农, 等. 从天然产物到新农药创制: 杀虫植物苦皮藤研究进展 [J]. 昆虫知识, 2008(6): 845-851.
Wu W J, Liu H X, Hu Z N, et al. Advances in research of insecticidal plant *Celastrus angulatus* [J]. Chinese Bulletin of Entomology, 2008(6): 845-851.
- [29] 王彩芳, 杨 茹, 曾献磊, 等. 蒲儿根花的化学成分研究 [J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2013, 49(4): 357-359.
Wang C F, Yang R, Zeng X L, et al. Chemical constituents of *Senecio oldhamianus* flowers [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2013, 49(4): 357-359.
- [30] Wen X B, Miao F, Zhou L, et al. *In vitro* antioxidant activity of *Parnassia wightiana* W. extracts [J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2012, 10(3): 190-195.
- [31] 胡维岗. 苍耳七化学成分研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
Hu W G. Chemical constituents of *Parnassia wightiana* [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2012.

(上接第 100 页)

- [19] Qiao H, Tuccori E, He X, et al. Discrimination of alarm pheromone (E)- β -farnesene by aphid odorant-binding proteins [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2009, 39(5): 414-419.
- [20] Fan J, Zhang Y, Francis F, et al. Orco mediates olfactory behaviors and winged morph differentiation induced by alarm pheromone in the grain aphid, *Sitobion avenae* [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2015, 64: 16-24.
- [21] 杨 爽, 尹 姣, 曹雅忠, 等. 麦长管蚜 *OBP7* 基因的 RNA 干扰 [J]. 植物保护, 2015, 41(3): 104-109.
Yang S, Yin J, Cao Y Z, et al. RNA interference of *OBP7* gene in *Sitobion miscanthi* [J]. Plant Protection, 2015, 41(3): 104-109.
- [22] Dicke M, Baldwin I T. The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles; beyond the 'cry for help' [J]. Trends in Plant Science, 2010, 15(3): 167-175.
- [23] Delphia C M, Mescher M C, De Moraes C M. Induction of plant volatiles by herbivores with different feeding habits and the effects of induced defenses on host-plant selection by thrips [J]. Journal of Chemical Ecology, 2007, 33(5): 997-1012.
- [24] Verheggen F J, Haubruge E, De Moraes C M, et al. Aphid responses to volatile cues from turnip plants (*Brassica rapa*) infested with phloem-feeding and chewing herbivores [J]. Arthropod-Plant Interactions, 2013, 7(5): 567-577.
- [25] Webster B, Bruce T, Pickett J, et al. Volatiles functioning as host cues in a blend become nonhost cues when presented alone to the black bean aphid [J]. Animal Behaviour, 2010, 79(2): 451-457.
- [26] Vandermoten S, Mescher M C, Francis F, et al. Aphid alarm pheromone: an overview of current knowledge on biosynthesis and functions [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2012, 42(3): 155-163.
- [27] Cui L L, Francis F, Heuskin S, et al. The functional significance of E- β -Farnesene; does it influence the populations of aphid natural enemies in the fields? [J]. Biological Control, 2012, 60(2): 108-112.
- [28] Bruce T J A, Gudbjorg I A, Smart L E, et al. The first crop plant genetically engineered to release an insect pheromone for defence [J/OL]. Scientific Reports, 2015, 5, doi: 10. 1038/srep11183.
- [29] Bruce T J A, Birkett M A, Blande J, et al. Response of economically important aphids to components of *Hemizygia petiolata* essential oil [J]. Pest Management Science, 2005, 61(11): 1115-1121.