

水稻挥发物对稻虱缨小蜂的引诱效果研究*

李 婷^{1**} 王成盼¹ 蒋娜娜¹ 尉吉乾² 莫建初^{1***}

(1. 浙江大学昆虫科学研究所, 农业部农业昆虫学重点实验室, 杭州 310058; 2. 浙江省杭州市植保土肥总站, 杭州 310020)

摘 要 【目的】通过室内测定稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* 对水稻单一挥发物和混合挥发物的行为反应, 研究水稻挥发物对稻虱缨小蜂的引诱效果, 为进一步探索信息化合物在害虫防治中的应用提供理论依据。【方法】利用 Y 型嗅觉仪测定醇类、酮类、酚类、醛类、烯类和吡啶类等 12 种水稻单一挥发物对稻虱缨小蜂的引诱效果, 利用引诱效果显著的单一化合物进行特定浓度的混配, 进而测定稻虱缨小蜂对混合水稻挥发物的行为反应。【结果】单一挥发物中, 香叶基丙酮 (0.1 mg/L)、2-庚醇 (1 mg/L)、正壬醇 (10 mg/L) 和 β -石竹烯 (0.01 mg/L) 对稻虱缨小蜂有显著的引诱效果; 对具有引诱效果的单一挥发物进行混配发现, No.1, No.3, No.4 和 No.10 这 4 种组合的混合物对稻虱缨小蜂的行为有显著的影响。【结论】水稻挥发物能够影响稻虱缨小蜂的行为反应, 但其引诱效果受挥发物种类、浓度和混配比例等多种因素的影响。

关键词 水稻挥发物, 稻虱缨小蜂, Y 型嗅觉仪, 行为反应, 混配比例

Attractiveness of rice plant volatiles to *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang

LI Ting^{1**} WANG Cheng-Pan¹ JIANG Na-Na¹ WEI Ji-Qian² MO Jian-Chu^{1***}

(1. Ministry of Agriculture Key Laboratory of Agricultural Entomology, Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Hangzhou General Station of Plant Protection and Soil Fertilizer, Hangzhou 310020, China)

Abstract [Objectives] To evaluate the attractiveness of single, and mixtures of different, rice plant volatiles to *Anagrus nilaparvatae* and thereby provide a theoretical basis for further exploring the application of semiochemical-based attractants as part of the integrated management of this pest. [Methods] The behavioral responses of *A. nilaparvatae* to 12 rice plant volatiles, including alcohols, ketones, phenols, aldehydes, olefins and indoles, were tested in a Y-tube olfactometer. Several mixtures of behaviorally-active compounds were also tested. [Results] *A. nilaparvatae* was significantly attracted by 0.1 mg/L of geranyl acetone, 1 mg/L of 2-heptanol, 10 mg/L of 1-nonanol and 0.01 mg/L of β -caryophyllene. Mixture No.1, No.3, No.4 and No.10 were also significantly attractive to *A. nilaparvatae*. [Conclusion] Rice plant volatiles can significantly affect the behavior of *A. nilaparvatae*, and their attractiveness varies with compound, concentration and the ratio at which different volatiles are mixed.

Key words rice plant volatiles, *Anagrus nilaparvatae*, Y-tube olfactometer, behavior response, mixing ratio

近年来, 稻飞虱在我国主要粮食作物——水稻上的为害日益加重, 对亚洲水稻产量造成了不可估量的损失 (李凯等, 2013; Garrood *et al.*, 2016)。稻飞虱常见的种类有 3 种, 分别是褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella*

furcifera 和灰飞虱 *Laodelphax striatellus*, 它们除直接刺吸水稻汁液外, 其产卵也会刺伤水稻植株, 破坏输导组织, 妨碍营养物质运输并传播病毒病 (姜永根和程家安, 2011; 翟保平, 2011)。目前主要采用化学防治方法控制其危害, 但随着

*资助项目 Supported projects: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201403030)

**第一作者 First author, E-mail: tinglizhu@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: mojianchu@zju.edu.cn

收稿日期 Received: 2017-09-10, 接受日期 Accepted: 2018-01-29

减肥、减药、增效政策的实施,需要引入其它防治策略如生物防治手段来对其种群进行控制(胡珍贵, 2012; Lou *et al.*, 2013; 潘月卓, 2013; Naranjo *et al.*, 2015)。因此,利用天敌来防治水稻害虫便得到了越来越多的关注(何佳春等, 2014; 张晓燕等, 2014; Mukherjee and Khan, 2017)。黄林茂和黄寿山(2010)研究发现在一定范围内,捕食性天敌黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 对褐飞虱的捕食量随着猎物密度的增加而呈现增长态势。稻虱红螯蜂 *Haplogonatopus japonicus* 既有寄生又有捕食功能,且繁殖率高,食量大,对稻飞虱尤其是白背飞虱的控害作用非常大(张晓燕等, 2014)。在二化螟卵块上同时接入稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* 和松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi*, 对水稻害虫二化螟的防治效果较为明显(杜文梅等, 2016)。

稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* 是稻飞虱卵期主要寄生性天敌,对控制稻田中飞虱的数量有非常明显的效果(刘芳等, 2002; Lou *et al.*, 2005)。自发现虫害诱导的寄主植物挥发物在害虫天敌的寄主定位、寄生和捕食行为中发挥着重要的作用以来(Heil, 2010; 高宇等, 2015), 这些信息化合物就被视为强化天敌防治害虫效果的潜在工具(Tamiru and Khan, 2017)。霍氏啮小蜂 *Tetrastichus howardi* 是能够寄生多种鳞翅目害虫的蛹期内寄生蜂,郑溢华(2016)研究发现柏木醇、正二十烷和 2-萘酮是能吸引其产生趋向反应的活性成分。多种水稻挥发物在不同浓度下对二化螟盘绒茧蜂和稻虱缨小蜂具有较好的引诱作用(张宇皓等, 2016)。二十二烷、1-十三烯外、2-丁基-1-辛醇、雪松醇和 1-十三醇在适宜浓度下对烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的重要天敌小黑瓢虫 *Delphastus catalinae* 具有引诱作用(徐桂萍, 2011)。同时,不同单一化合物进行混配也在害虫治理中起到了十分重要的作用(Takemoto and Takabayashi, 2015)。这些信息表明,虫害诱导的寄主植物挥发物在天敌控制害虫种群密度的过程中起了较为重要的作用(Erbilgin *et al.*, 2007; 李峰奇等, 2017; 朱宁

等, 2017)。然而,对于哪些挥发物在何种浓度下一起发挥效用目前还不太清楚(Cai *et al.*, 2016)。所以,我们在前人研究的基础上,选用醇类、酮类及其他 12 种单一水稻挥发物组分,在室内条件下分别测试其对稻虱缨小蜂行为反应的影响,然后按最优效果浓度对单一化合物进行混配,进一步测试稻虱缨小蜂的趋向行为,从而为进一步研究基于水稻挥发物的寄生蜂引诱剂打下基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

褐飞虱种群采集自浙江大学紫金港校区西区水稻试验田,将其在温度为 $(26 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 80%、光周期为 L:D=14:10 的环境下,于养虫笼内的易感水稻品种 TN1 上进行饲养。

从试验田回收产有褐飞虱卵的诱饵 TN1 植株,在显微镜下观察褐飞虱卵被寄生情况。将含有稻虱缨小蜂寄生卵的区域剪下并置于上述褐飞虱养虫笼内保湿培养。繁殖 3-5 代至稻虱缨小蜂达一定数量时挑选用于试验。

试验前,挑选含有稻虱缨小蜂卵的水稻植株置于透明塑料瓶(直径 11 cm, 口径 10 cm, 瓶高 14 cm)中,瓶底放入一定量自来水以保证刚好将水稻根部没入。瓶口用双层 200 目纱布罩紧封好。每天上午 10:00 前检查是否有羽化成虫,如有则在 2 h 后挑选雌成虫用于试验。

1.2 供试化合物

供试的水稻挥发物共 12 种,全部购自 Sigma 公司,纯度均在 98%以上(表 1)。化合物配制过程中,使用二甲基亚砜作溶剂,OP-10 作乳化剂,两者均购自 Aladdin 公司。浓度从低到高依次为 0.01、0.1、1、10、100 mg/L。

1.3 试验装置

试验采用 Y 型嗅觉仪进行,嗅觉仪两臂与公共臂长度均为 10 cm,内径 1.5 cm,两臂夹角

表 1 12 种供试水稻挥发物一览表
Table 1 List of 12 rice plant volatiles for the test

醇类 Alcohols	酮类 Ketones	其他 Others
1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	6-甲基-5-庚烯-2-酮 Methylheptenone	β -石竹烯 β -caryophyllene
正壬醇 1-Nonanol	β -紫罗兰酮 β -ionone	1-辛醛 Caprylaldehyde
2-庚醇 2-Heptanol	2-辛酮 2-Octanone	甲基丁香酚 Methyleugenol
叶醇 Leaf alcohol	香叶基丙酮 Geranyl acetone	吲哚 Indole

75°。味源瓶上口径 4 cm，底部侧口径 3 cm，底部直径 7 cm，高度 14 cm。试验在侧面和顶面遮光的正方体木箱（50 cm×50 cm×50 cm）中进行，背面覆盖透明的硫酸纸，正面可打开进行试验。

1.4 试验方法

稻虱缨小蜂对水稻单一挥发物和混合挥发物的嗅觉行为反应试验均在试验箱内的 Y 型嗅觉仪中进行。箱体背面居中位置放置一台 25 W 的圆形灯罩冷光节能灯，有效聚拢光源进行试虫的集中和挑选，同时避免光照对试虫的影响。Y 型嗅觉仪水平置于试验箱底部，使其公共臂垂直对准光源，保证试验箱内以公共臂为对称轴，两侧完全对称。所有的生物测定均在温度为（26±2）℃条件下进行，测定时间在 12:00-17:00 之间。

试验前，在两个味源瓶底部中央位置分别放置一小块脱脂棉球（直径 2 cm），用移液枪吸取 800 μ L 化合物或混合物溶液注入一个味源瓶中，另一个味源瓶注入等量的不含化合物的溶剂溶液作为对照。气泵打开后，气流依次通过活性炭、蒸馏水到达味源瓶，通过流量计调节气流流量为 150 mL/min。每次试验前通气 3 min，使 Y 型嗅觉仪内气体达到稳定状态再放入试虫进行试验。

试验时，挑选虫体大小相近、活力较强的雌蜂单头依次放入 Y 型嗅觉仪公共臂基部，在 5 min 内观察和记录试虫的选择情况。当雌蜂爬过某一侧臂 7 cm 并在该区间内保持 10 s 以上，或爬过某一侧臂 5 cm 并在该区间内保持 1 min 以上，或在某一侧臂持续停留 5 min 以上，记为该试虫对该侧臂所连接的气味源作出了选择。若

5 min 内该试虫一直停留在公共臂或最终从入口逃离，则记为不选择。用于测试单种化合物或混合物的雌蜂共 90 头，每头不重复测试。为避免试虫之间相互影响或其他外界因素的干扰，试验中每测试 5 头寄生蜂便更换 Y 型嗅觉仪一次，同时更换新鲜的味源，每测试 10 头试虫则更换味源瓶和 Y 型嗅觉仪两臂方向。

1.5 数据处理与统计分析

对同一组数据，应用 SPSS 数据分析软件中卡方（ χ^2 ）检验功能对稻虱缨小蜂选择性统计结果进行显著性分析，未做出选择的试虫视为无效数据，不列入统计分析。所测结果采用 Excel 2016 进行作图分析。

2 结果与分析

2.1 稻虱缨小蜂对水稻单一挥发物的行为反应

室内条件下，稻虱缨小蜂雌蜂对 12 种水稻单一挥发物的行为反应结果如图 1、图 2 和图 3 所示。由图 1 可见，在所测醇类化合物中，浓度为 10 mg/L 的正壬醇和浓度为 1 mg/L 的 2-庚醇对稻虱缨小蜂具有显著的引诱效果，其中稻虱缨小蜂对浓度为 1 mg/L 的 2-庚醇所产生的行为反应与对照相比达到了差异极显著水平。1-辛烯-3-醇和叶醇在供试浓度下对稻虱缨小蜂的行为均无显著影响，且 1-辛烯-3-醇在所测的 5 种浓度下对稻虱缨小蜂的选择结果均十分相近。

由图 2 可见，在所测的酮类化合物中，稻虱缨小蜂对 0.1 mg/L 香叶基丙酮具有极显著的趋向反应。6-甲基-5-庚烯-2-酮、 β -紫罗兰酮和 2-辛酮在供试浓度下对稻虱缨小蜂均无引诱效果，且稻虱缨小蜂在 Y 型嗅觉仪两臂的选择数量均接近 1:1。

由图 3 可见，0.01 mg/L β -石竹烯对稻虱缨小蜂具有显著的引诱效果，且在 100 mg/L 浓度条件下对稻虱缨小蜂也具有一定的引诱活性，但未达到差异显著水平。值得一提的是，稻虱缨小蜂对高浓度下的甲基丁香酚（10 mg/L, 100 mg/L）和 1-辛醛（100 mg/L）表现出了一定程度的驱避

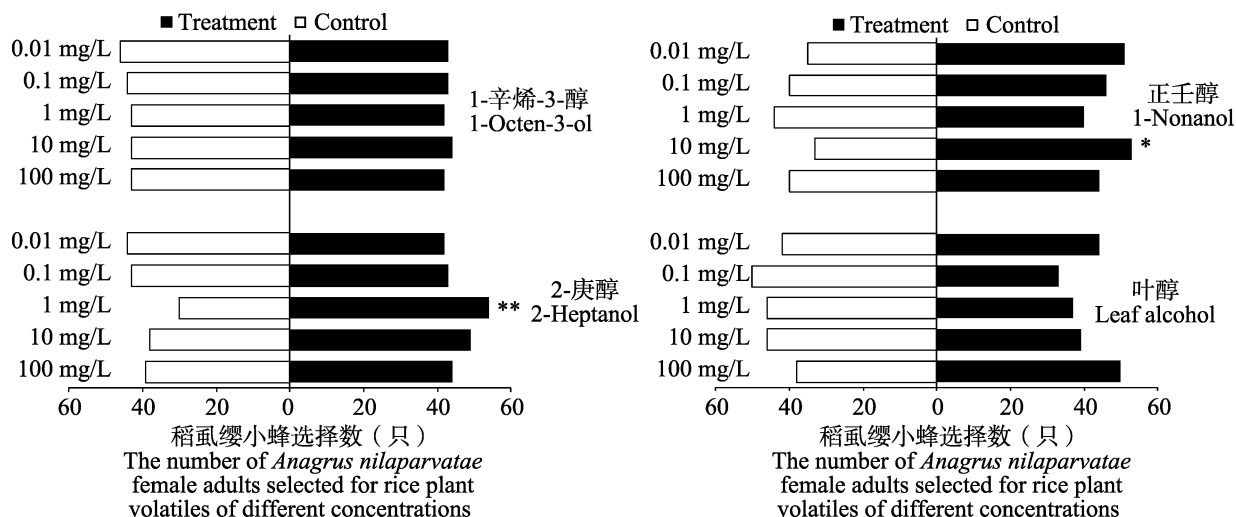


图 1 稻虱缨小蜂雌蜂对 5 种浓度醇类水稻挥发物的行为反应

Fig. 1 Behavioral responses of *Anagrus nilaparvatae* female adults to five concentrations of alcohol rice plant volatiles

Treatment 表示用于试验的不同浓度的化合物, Control 表示相应浓度的对照。*, ** 分别表示经卡方检验

在 $P < 0.05$ 水平上以及 $P < 0.01$ 水平上差异显著。下图同。

Treatment: The different concentrations of chemicals applied in the experiment; Control: The same concentrations of solvent. * and ** represents significant difference at $P < 0.05$ level and at $P < 0.01$ level by Chi-square test, respectively. The same below.

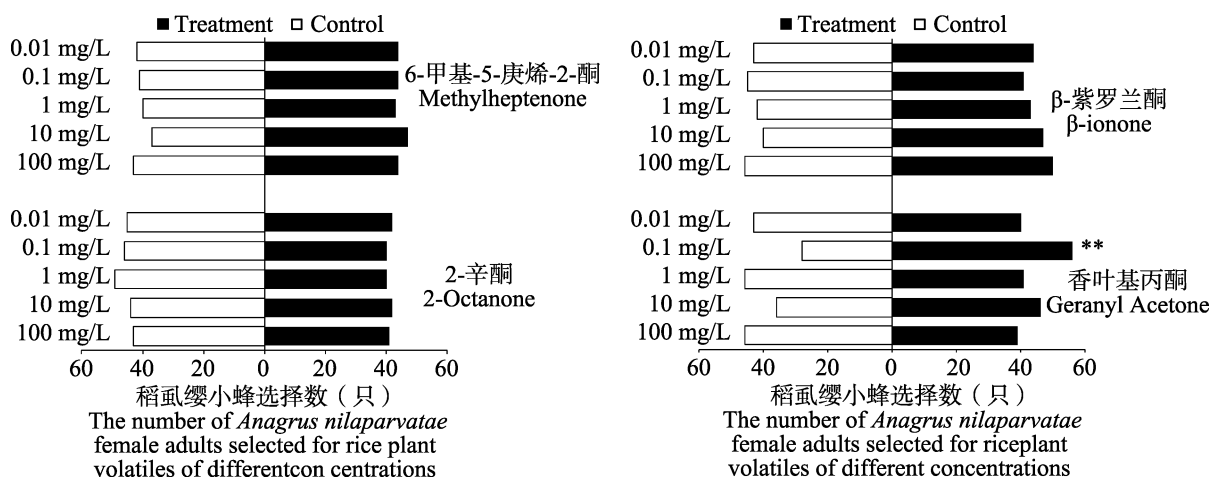


图 2 稻虱缨小蜂雌蜂对 5 种浓度酮类水稻挥发物的行为反应

Fig. 2 Behavioral responses of *Anagrus nilaparvatae* female adults to five concentrations of ketone rice plant volatiles

性。供试含氮化合物吲哚对稻虱缨小蜂行为无明显影响。

2.2 稻虱缨小蜂对水稻混合挥发物的行为反应

根据稻虱缨小蜂对水稻单一挥发物的行为反应结果, 对 0.1 mg/L 香叶基丙酮、1 mg/L 2-庚醇、10 mg/L 正壬醇和 0.01 mg/L β -石竹烯进行了混配, 具体配方如表 2 所示。

在室内条件下用 Y 型嗅觉仪测定了 11 种混合物对稻虱缨小蜂行为反应的影响, 结果如图 4 所示。图 4 结果表明, 0.1 mg/L 香叶基丙酮和 1 mg/L 2-庚醇组成的混合物, 0.1 mg/L 香叶基丙酮和 0.01 mg/L β -石竹烯组成的混合物, 1 mg/L 2-庚醇和 10 mg/L 正壬醇组成的混合物, 及 1 mg/L 2-庚醇、10 mg/L 正壬醇和 0.01 mg/L β -石竹烯组成的混合物, 对稻虱缨小蜂具有显著的引诱效

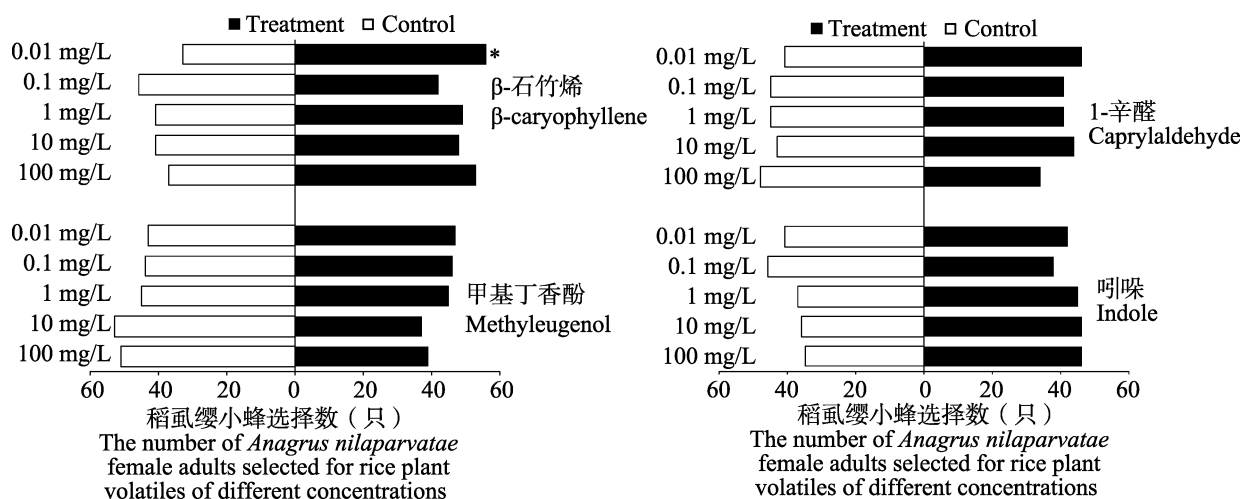


图3 稻虱缨小蜂雌蜂对5种浓度的其他水稻挥发物的行为反应

Fig. 3 Behavioral responses of *Anagrus nilaparvatae* female adults to five concentrations of other rice plant volatiles表2 11种供试混合物一览表
Table 2 List of 11 mixtures for the test

编号 Number	香叶基丙酮 Geranyl Acetone	2-庚醇 2-Heptanol	正壬醇 1-Nonanol	β-石竹烯 β-caryophy- llene
No.1	+	+	—	—
No.2	+	—	+	—
No.3	+	—	—	+
No.4	—	+	+	—
No.5	—	+	—	+
No.6	—	—	+	+
No.7	+	+	+	—
No.8	+	+	—	+
No.9	+	—	+	+
No.10	—	+	+	+
No.11	+	+	+	+

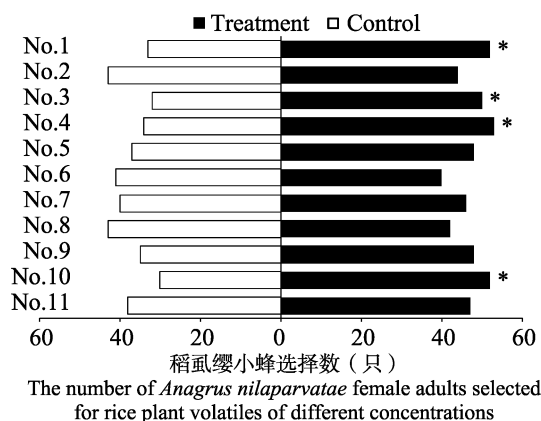


图4 稻虱缨小蜂雌蜂对11种水稻气味混合物的行为反应

Fig. 4 Behavioral responses of *Anagrus nilaparvatae* female adults to eleven kinds of mixtures

果。但4种单一化合物按照最优浓度混配的混合物对稻虱缨小蜂的行为无显著影响。此外,11种混合物对稻虱缨小蜂均无驱避作用。

3 讨论

作为重要的稻飞虱卵期寄生蜂,稻虱缨小蜂在水稻害虫生物防治中起到了关键的作用(Xu *et al.*, 2014)。随着寄主植物-植食性昆虫-天敌昆虫三级营养系统中信息化物的广泛研究,寄主植物挥发物对天敌昆虫行为反应的影响逐渐被人们认识(Leroy *et al.*, 2009)。麻旭东(2009)研究发现植物挥发物在寄主植物-南美斑潜蝇 *Liriomyza huidobrensis*-潜蝇茧蜂 *Opius* sp.相互关系中发挥了十分重要的作用。在国槐挥发物组分中,α-蒎烯、沉香醇和己醛在一定浓度下对蛱虫和蚜虫的重要天敌——异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 有显著的引诱作用(薛皎亮等, 2008)。显然,研究植物挥发物对天敌昆虫行为的影响对我们进一步利用天敌昆虫防治害虫具有十分重要的意义。

本研究结果表明,在供试的单一水稻挥发物中,有些种类在特定浓度下对稻虱缨小蜂的选择性行为具有显著的影响,而在其他浓度条件下则无影响或影响较弱。其中,对稻虱缨小蜂具有显著引诱效果的化合物是正壬醇(10 mg/L)、2-庚醇(1 mg/L)、香叶基丙酮(0.1 mg/L)和β-石

竹烯 (0.01 mg/L)。潘铖(2015) 研究发现, 在 17 种典型的茶梢挥发物中, 橙花醇、正戊醇、正己醇、 α -松油醇、萜烯、 α -松油烯 6 种挥发物的 9 个剂量对假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* 的卵期寄生蜂三棒缨小蜂 *Stethynium empoascae* 有显著引诱效应。二化螟盘绒茧蜂对特定浓度的芳樟醇、2-壬酮、反-2-己烯醛、 β -石竹烯和罗勒烯有较为显著的偏好性 (张宇皓, 2016)。桔小实蝇的 3 种寄生蜂切割潜蝇茧蜂、布氏潜蝇茧蜂及长尾潜蝇茧蜂对浓度为 10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的寄主植物挥发物成份 (橙花叔醇、芳樟醇、紫罗兰酮、反-2-癸烯醛、石竹烯、 α -法呢烯和柠檬烯等) 能产生触角电位反应 (涂蓉, 2012)。另外, 在寄主挥发物对害虫的作用效果方面, 张凤娟 (2006) 发现随着 4 种植物对光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 抗性顺序的增加, 醇类化合物相对含量逐渐增加, 酮类和醛类化合物的变化趋势与醇类化合物相同, 而烷烃类和酯类化合物的相对含量逐渐减少。由三级营养系统信息化化合物的关联性可以推断, 天敌昆虫行为反应随不同种类化合物相对含量的变化而发生变化。

在测试的 11 种水稻挥发物混合物中, 稻虱缨小蜂只对 4 种混合物产生了显著的行为反应。其中, 由两种化合物混配的占 3 种, 3 种化合物混配的占 1 种。也就是说, 对稻虱缨小蜂有显著影响的水稻单一挥发物在与其他引诱效果显著的挥发物混配后, 可能依然发挥显著的引诱效果, 但也可能产生拮抗作用, 减弱引诱剂对稻虱缨小蜂的引诱效果。如香叶基丙酮单独存在时对稻虱缨小蜂行为具有极显著的影响, 但与 2-庚醇或 β -石竹烯混配后, 虽对稻虱缨小蜂依然具有引诱性, 但引诱效果显著下降; 另外, 它与正壬醇混配时, 对稻虱缨小蜂也无显著的引诱性。这种现象也出现在其他研究中, 如汪鹏和姜永根 (2013) 在 50 mg/L 的浓度条件下, 测试了由单一水稻挥发物混配而成的 32 种混合物, 结果只有 3 种混合物对稻虱缨小蜂达到了显著的引诱效果。这些信息表明, 一些单一的水稻挥发物只在特定浓度下才对天敌寄生蜂具有引诱作用, 具有引诱作用多种单一化合物混配并不一定能对

天敌寄生蜂的行为产生显著的趋向影响。这说明在今后研究寄主植物挥发物对天敌的引诱作用时, 要注重对信息化化合物的浓度进行控制。显然, 在得到具有引诱活性的单一化合物后, 要得到具有显著增效作用的混配化合物我们还有许多基础性的研究工作要做。

参考文献 (References)

- Cai XM, Xu XX, Bian L, Luo ZX, Xin ZJ, Chen ZM, 2016. Attractiveness of host volatiles combined with background visual cues to the tea leafhopper, *Empoasca vitis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 157(3): 291–299.
- Du WM, Lin Y, Zang LS, Zhang C, Liu XJ, Ruan CC, 2016. Interspecific interference of *Trichogramma japonicum* with other two *Trichogramma* species on eggs of the rice stripped stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker). *Journal of Environmental Entomology*, 38(3): 488–493. [杜文梅, 林英, 臧连生, 张晨, 刘显娇, 阮长春, 2016. 稻螟赤眼蜂与二种赤眼蜂对水稻二化螟卵寄生竞争作用. *环境昆虫学报*, 38(3): 488–493.]
- Erbilgin N, Mori SR, Sun JH, Stein JD, Owen DR, Merrill LD, Bolaños RC, Raffa KF, Montiel TM, Wood DL, Gillette NE, 2007. Response to host volatiles by native and introduced populations of *Dendroctonus valens* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in North America and China. *Journal of Chemical Ecology*, 33(1): 131–146.
- Gao Y, Wang ZY, Zhao HY, Tang DW, 2015. The EAG response and behavior of *Tetrastichus planpennisi* females to host volatiles. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 43(1): 141–143. [高宇, 王志英, 赵红盈, 唐大伟, 2015. 白蜡吉丁啮小蜂雌蜂对寄主挥发物的触角电位和行为反应. *江苏农业科学*, 43(1): 141–143.]
- Garrood WT, Zimmer CT, Gorman KJ, Nauen R, Bass C, Davies TG, 2016. Field-evolved resistance to imidacloprid and ethiprole in populations of brown planthopper *Nilaparvata lugens* collected from across South and East Asia. *Pest Management Science*, 72(1): 140–149.
- He JC, Hu Y, Li B, Lan FX, Fu Q, 2014. The investigation of the main species of natural enemies in rice planthopper and dynamic. *Proceedings of the 2014 Annual Conference of the Chinese Society for Plant Protection*. Xiamen Fujian. 422. [何佳春, 胡阳, 李波, 赖凤香, 傅强, 2014. 稻田飞虱主要天敌种类及发生动态的调查. 2014 年中国植物保护学会学术年会论文集. 福建厦门. 422.]

- Heil M, 2010. Plastic defence expression in plants. *Ecology and Evolution*, 24(3): 555–569.
- Hu GZ, 2012. Occurrence and integrated control of rice planthopper. *South China Agriculture*, 6(9): 35–36. [胡珍贵, 2012. 稻飞虱的发生规律及综合防治. 南方农业, 6(9): 35–36.]
- Huang LM, Huang SS, 2010. Functional and numerical responses of the predacious plant bug on the rice brown planthopper egg. *Acta Ecologica Sinica*, 30(15): 4187–4195. [黄林茂, 黄寿山, 2010. 黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱卵的功能与数值反应. 生态学报, 30(15): 4187–4195.]
- Leroy P, Capella Q, Haubruge É, 2009. Aphid honeydew impact on the tritrophic relationships between host-plants, phytophagous insects and their natural enemies. *Biotechnology Agronomy Society & Environment*, 13(2): 325–334.
- Li FQ, Yang SY, Fu NN, Qu C, Liu J, Wang R, Xu YH, Luo C, 2017. Volatile profiles of *Platanus acerifolia* leaves and their behavioral effects on *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(2): 207–213. [李峰奇, 杨世勇, 付宁宁, 渠成, 刘佳, 王然, 许奕华, 罗晨, 2017. 二球悬铃木叶片挥发物与悬铃木方翅网蝽的相互作用研究. 应用昆虫学报, 54(2): 207–213.]
- Li K, Chen LZ, Chen JM, He YP, Zhang JF, 2013. Behavioral responses of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* to the volatile substance released by the same kind of insects in danger. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 25(1): 89–94. [李凯, 陈列忠, 陈建明, 何月平, 张珏峰, 2013. 褐飞虱对同类昆虫遇险释放挥发物的行为反应. 浙江农业学报, 25(1): 89–94.]
- Liu F, Lou YG, Cheng JA, 2002. Mediation of volatiles on the intraand interspecific relationships between *Angrus nilaparvatae* Pang&Wang and *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter). *Journal of Zhejiang University*, 28(4): 401–406. [刘芳, 姜永根, 程家安, 2002. 挥发物在调节稻虱缨小蜂、黑肩绿盲蝽种内种间关系中的作用. 浙江大学学报, 28(4): 401–406.]
- Lou YG, Chen JA, 2011. Basic research on the outbreak mechanism and sustainable management of rice planthoppers. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 231–238. [姜永根, 程家安, 2011. 稻飞虱灾变机理及可持续治理的基础研究. 应用昆虫学报, 48(2): 231–238.]
- Lou YG, Ma B, Cheng JA, 2005. Attraction of the parasitoid *Anagrus nilaparvatae* to rice volatiles induced by the rice brown planthopper *Nilaparvata lugens*. *Journal of Chemical Ecology*, 31(10): 2357–2372.
- Lou YG, Zhang GR, Zhang WQ, Hu Y, Zhang J, 2013. Biological control of rice insect pests in China. *Biological Control*, 67(1): 8–20.
- Ma XD, 2009. Roles of plant volatiles on the interaction between host plants, *Liriomyza huidobrensis* and *Opius* sp. Master dissertation. Huhehaot: Inner Mongolia Agricultural University. [麻旭东, 2009. 植物挥发物在寄主植物-南美斑潜蝇-潜蝇茧蜂相互关系中的作用. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学.]
- Mukherjee P, Khan M, 2017. Abundance of arthropod insect pests and natural enemies in rice field as influenced by rice growth stages and neighboring crops. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 42(2): 309–319.
- Naranjo SE, Ellsworth PC, Frisvold GB, 2015. Economic value of biological control in integrated pest management of managed plant systems. *Annual Review of Entomology*, 60(1): 621–645.
- Pan C, 2015. Studies on efficacy of volatile infochemicals from tea plants and lavenders regulating behaviour of tea green leafhopper and its egg parasitoid *Stethynium empoasca*. Master dissertation. Hangzhou: China Jiliang University. [潘铖, 2015. 茶树和薰衣草信息物调控假眼小绿叶蝉及叶蝉三棒缨小蜂行为的功效. 硕士学位论文. 杭州: 中国计量学院.]
- Pan YZ, 2013. Review on integrated management of rice planthopper aimed at improving ecosystem stability of rice field. *North Rice*, 43(2): 73–75. [潘月卓, 2013. 以提高稻田生态系统稳定性为主旨的稻飞虱综合防治对策. 北方水稻, 43(2): 73–75.]
- Takemoto H, Takabayashi, 2015. Parasitic wasps *aphidius ervi* are more attracted to a blend of host-induced plant volatiles than to the independent compounds. *Journal of Chemical Ecology*, 41(9): 801–807.
- Tamiru A, Khan ZR, 2017. Volatile semiochemical mediated plant defense in cereals: a novel strategy for crop protection. *Agronomy*, 7(3): 58, doi: 10.3390/agronomy7030058.
- Tu R, 2012. Study on behavior responses of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) and its larval parasitoids to their host volatiles. Doctoral dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [涂蓉, 2012. 桔小实蝇及其幼虫寄生蜂的嗅觉行为研究. 博士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Wang P, Lou YG, 2013. Screening and field evaluation of synthetic plant volatiles as attractants for *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang, an egg parasitoid of rice planthoppers. *Chinese Journal of*

- Applied Entomology*, 50(2): 431–440. [汪鹏, 姜永根, 2013. 稻飞虱卵期寄生蜂稻飞虱小蜂引诱剂的筛选与田间试验. 应用昆虫学报, 50(2): 431–440.]
- Xu H, He X, Zheng X, Yang Y, Tian J, Lu Z, 2014. Infection of rice plants by rice black streaked dwarf virus improves an egg parasitoid, *Anagrus nilaparvatae* (Hymenoptera: Mymaridae), of rice planthoppers. *Environmental Entomology*, 43(5): 1235–1239.
- Xu QP, 2011. Attracting effect of host plants volatiles of *Bemisia tabaci* on *Delphastus catalinae*. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [徐桂萍, 2011. 烟粉虱寄主植物挥发物对小黑瓢虫引诱作用的研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Xue JL, He J, Xie YP, 2008. Attractive effect of plant volatiles on *Harmonia axyridis* (Pallas). *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 14(4): 494–498. [薛皎亮, 贺珺, 谢映平, 2008. 植物挥发物对天敌昆虫异色瓢虫的引诱效应. 应用与环境生物学报, 14(4): 494–498.]
- Zhai BP, 2011. Rice planthoppers: A China problem under the international perspectives. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1184–1193. [翟保平, 2011. 稻飞虱: 国际视野下的中国问题. 应用昆虫学报, 48(5): 1184–1193.]
- Zhang FJ, 2006. Study on the response of *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) to the volatiles from maples and herbivore-induced signals. Doctoral dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [张凤娟, 2006. 光肩星天牛对槭树挥发物的响应及虫害诱导信号物质研究. 博士学位论文. 北京: 北京林业大学.]
- Zhang XY, Zhai YF, Lin QC, Sun YX, Li Q, Tao M, Zhou HX, Li LL, Yu Y, 2014. Research progress of controlling action of parasitoids on rice planthoppers. *Journal of Environmental Entomology*, 36(6): 1025–1032. [张晓燕, 翟一凡, 林清彩, 孙玉霞, 李强, 陶玫, 周仙红, 李丽莉, 于毅, 2014. 寄生蜂对稻飞虱控害作用研究进展. 环境昆虫学报, 36(6): 1025–1032.]
- Zhang YH, 2016. Study on attractant effect of rice volatiles on *Chilo suppressalis* and rice parasitoid wasps. Master dissertation. Hangzhou: Zhejiang University. [张宇皓, 2016. 水稻挥发物对二化螟及稻田寄生蜂的引诱效果研究. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学.]
- Zhang YH, Li T, Mo JC, 2016. The attractiveness of rice plant volatiles to *Apanteles chilonis* Munakata and *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(3): 491–498. [张宇皓, 李婷, 莫建初, 2016. 二化螟盘绒茧蜂及稻飞虱小蜂对挥发物的嗅觉反应. 应用昆虫学报, 53(3): 491–498.]
- Zheng YH, 2016. Host location behaviour and its mechanism of *Tetrastichus Howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae). Doctoral dissertation. Guangzhou: South China Agricultural University. [郑溢华, 2016. 霍氏啮小蜂对寄主的定位机制研究. 博士学位论文. 广州: 华南农业大学.]
- Zhu N, Zhang DY, Wu LP, Hu Q, Fan JT, 2017. Attractiveness of aggregation pheromones and host plant volatiles to *Anoplophora glabripennis* and *A. chinensis* (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomologica Sinica*, 60(4): 421–430. [朱宁, 张冬勇, 吴利平, 胡琴, 樊建庭, 2017. 聚集信息素和寄主植物挥发物对光肩星天牛和星天牛的引诱作用. 昆虫学报, 60(4): 421–430.]