

文章编号: 1008-9209(2004)06-0589-07

几种生物因子对褐飞虱诱导的水稻挥发物活性的影响

马波, 娄永根, 程家安

(浙江大学 应用昆虫学研究所, 浙江 杭州 310029)

摘要: 利用行为生测考察了褐飞虱为害程度、水稻生育期和品种对水稻挥发物引诱褐飞虱卵期寄生蜂稻虱缨小蜂活性的影响。结果表明,雌成虫 10 头/株和 20 头/株为害 1 d 的水稻挥发物,对稻虱缨小蜂具明显的引诱作用,而 1 头/株、5 头/株、40 头/株和 80 头/株为害 1 d 的,与空白对照相比不显示明显的引诱作用。稻虱缨小蜂对 TN1 未处理稻株挥发物的趋性不明显,并且对不同生育期的稻株亦无明显差异;但受褐飞虱为害后,生育期 60 d 的稻株比 90 d 的对稻虱缨小蜂具更强的引诱作用。不同品种未处理稻株间,TN1 挥发物对稻虱缨小蜂的引诱作用明显地比 Nabeshi 强,而其他品种间差异不显著。在受到褐飞虱为害后,品种间的差异趋于明显。汕优 63 比 TN1 具更强的引诱作用,而 Nabeshi、IR26 和丙 97-59 等品种对稻虱缨小蜂的引诱作用则明显弱于 TN1。

关键词: 水稻; 生育期; 水稻品种; 虫害程度; 褐飞虱; 稻虱缨小蜂; 水稻挥发物; 行为反应
中图分类号: Q968.1 **文献标识码:** A

MA Bo, LOU Yong-gen, CHENG Jia-an (*Institute of Applied Entomology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China*)

Effects of some biotic factors on activities of the volatiles emitted from rice plants infested by the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal). Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.), 2004, 30(6): 589-595

Abstract: Experiment was conducted in laboratory to study the effects of *N. lugens* damage levels, developmental stages of infested plants and rice cultivars on attractiveness of *N. lugens*-induced rice volatiles to *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang, an egg parasitoid of *N. lugens*. The results showed that the volatiles from plants infested with 10 or 20 gravid female *N. lugens* for one day had an obvious attractiveness to the parasitoid compared to the blank control, while the volatiles from plants infested with 1, 5, 40 or 80 gravid female *N. lugens* for one day did not. The parasitoid did not show any behavioral responses to the volatiles emitted from unmanipulated TN1 plants, and also showed no bias responses to the rice volatiles from different developmental stages. When attacked by *N. lugens*, however, the attractiveness of the volatiles from plants at the age of 60 days to the parasitoid was significantly stronger than that of the volatiles from plants at the age of 90 days. There were no differences in at-

收稿日期: 2003-06-19

基金项目: 国家科技部“973”资助项目(G2000016208).

作者简介: 马波(1980—),男,山东滨州人,硕士研究生,从事昆虫化学生态学的研究.

通讯作者: 娄永根,男,教授,主要从事昆虫化学生态学的研究. Tel: 0571-86971622; E-mail: yglou@zju.edu.cn.

tractiveness of the volatiles of unmanipulated plants of various cultivars except for the case of comparison between cultivars TN1 and Nabeshi, in which the volatiles from TN1 plants were significantly stronger than those from Nabeshi. After being damaged by *N. lugens*, the differences in attractiveness among rice varieties increased significantly. The volatiles released from TN1 plants demonstrated significant weaker attractiveness to the parasitoid than those from Shanyou 63, but were obviously stronger than those from Nabeshi, IR26 and Bing 97-59.

Key words: rice plants; developmental stage; rice variety; damage level; *Nilaparvata lugens*; *Anagrus nilaparvatae*; rice volatiles; behavioral response

植物在虫害取食胁迫下会释放大量对害虫天敌有引诱作用的挥发性化学物质. 这已经在棉花、水稻、玉米、大豆、番茄、甘蓝、金夹豆、树薯、黄豆、豌豆、豇豆、苹果等等多种植物系统的研究中得到了证实^[1~7]. 从来源看,它们主要是植物次生代谢的产物,来源于脂肪酸代谢、萜烯代谢、氨基酸代谢和类苯丙烷代谢^[8]. 植物的次生代谢是植物与各种环境选择压相互作用的产物,作用的结果造成了植物次生代谢的多样性和可变性^[4]. 由此导致了虫害诱导的植物挥发物的多样性和可变性. 换句话说,虫害诱导的植物挥发性物质的组成和含量受多种因素的影响. 其中包括各种生物因素和非生物因素^[9~15].

先期的研究表明,与无褐飞虱取食的健康稻株挥发物相比,褐飞虱若虫或雌成虫-TN1稻株复合体挥发物对褐飞虱天敌稻虱缨小蜂具有明显的引诱作用;通过分解测定褐飞虱-TN1稻株复合体中各组挥发物对稻虱缨小蜂的引诱作用表明,去除褐飞虱后的受害稻株挥发物比作为对照的健康稻株或机械损伤稻株挥发物对稻虱缨小蜂具更强的引诱作用,而褐飞虱各发育阶段虫体(若虫,雌成虫,雄成虫,卵)及其产物(蜜露,脱皮壳)的挥发物对稻虱缨小蜂无引诱作用^[16~18],说明褐飞虱诱导的水稻挥发物在稻虱缨小蜂的寄主寻找行为中起着重要作用. 此外,研究还表明褐飞虱诱导的水稻挥发物的活性和组分受水稻品种的影响^[16, 17]. 然而,就水稻品种对褐飞虱的直接抗性与间接受害性间是否存在相关性,以及水稻生育期和褐飞虱为害程度等是否影响褐飞虱诱导的水稻挥发物的活性,至今尚无研究报道. 为此,本文就几个重要生物因子,包括褐飞虱为害程度、水稻生育

期和品种等对水稻挥发物可能的影响进行了研究.

1 材料与方法

1.1 水稻品种

共选用了9个水稻品种,分别为褐飞虱的感性品种TN1、浙农852、IR26^[11]、汕优63;中抗品种Nabeshi、丙97-34、丙97-59和抗性品种IR36、IR64^[19, 20]. 由中国水稻研究所,浙江省农业科学院和浙江省嘉兴市农业局提供.

种子于室内催芽后,6月上旬分期分批播于无虫网室的水泥槽内. 待秧龄20d时,将水稻移栽于塑料盆钵($\phi 16\text{ cm} \times 14\text{ cm}$)内,每盆约10根苗. 每天浇水,并分别于移栽后10、20、30d施尿素,备用.

1.2 实验昆虫

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 虫源由中国水稻研究所提供,系浙江杭州富阳的田间种群. 然后在室外的网室内,利用TN1稻苗进行群体繁殖. 稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang 从浙江大学华家池校区实验农场中诱得,然后置(27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、12L、12D的光照培养箱中,以TN1上的褐飞虱卵繁殖.

1.3 稻虱缨小蜂对不同受害程度水稻挥发物的行为反应

以TN1为测试品种,苗龄60d. 取如上所述的盆栽水稻,用自来水小心清洗,并去除小的分蘖和黄叶,每盆保留10根稻苗. 设置1、5、10、20、40和80头/稻苗的6种褐飞虱雌成虫为害密度,为害时间24h. 分别测定稻虱缨小蜂对6种褐飞虱-稻株复合体(共10株稻苗)

挥发物的行为反应,以空白作对照。

1.4 稻虱缨小蜂对不同生育期水稻挥发物的行为反应

以 TN1 为测试品种,分别测定 3 个生育期,即苗龄 30、60 和 90 d 的水稻挥发物对稻虱缨小蜂的引诱作用。生测时,取 TN1 的盆栽水稻,用自来水小心清洗,并去除小的分蘖和黄叶,每盆保留稻苗 10 根。分别对各生育期的稻株作 2 种处理,即未受害稻株和褐飞虱为害株。褐飞虱为害株为每苗接褐飞虱雌成虫 10 头,共 100 头,为害 12 h。我们在研究褐飞虱持续取食时间对水稻挥发物活性影响的试验中表明,在每苗接褐飞虱雌成虫 10 头的情况下,褐飞虱为害时间 6~24 h 所诱导的挥发物对稻虱缨小蜂具明显的引诱作用,并且在为害 12 h 时,引诱作用最强^[21]。因此,在此将为害时间改成了 12 h。分别测定稻虱缨小蜂对以下 3 种挥发物组合的行为反应:①各生育期的未处理稻株与空白对照;②各生育期末处理稻株两两比较;③各生育期褐飞虱为害株两两比较。

1.5 稻虱缨小蜂对不同水稻品种挥发物的行为反应

取上述 9 个品种的盆栽稻苗,经清洗和整理后,各保留 10 根。各品种的稻苗设置如 1.4 所述的 2 种处理,即未处理稻株和褐飞虱为害稻株。生测时,以 TN1 为参照品种,分别测定其余各品种的未处理稻株和褐飞虱为害稻株挥发物,与 TN1 相应植株相比,对稻虱缨小蜂的引诱作用。

1.6 生物测定

稻虱缨小蜂的行为生测采用“Y”型嗅觉仪。“Y”型嗅觉仪的两臂及直管均长 10.0 cm,内径 1.0 cm,两臂夹角 75°。“Y”型嗅觉仪两臂分别通过 Teflon 管与味源瓶(∅6 cm×60 cm 玻璃管)相连,味源瓶内盛不同的气味源。在气流流入味源瓶之前,先经过一个活性炭过滤器(∅1.8 cm×10 cm)以净化空气。每臂的气流流量通过气体流量计控制在 160~180 mL/min。在嗅觉仪正前方约 25 cm 处安置两盏 25 W 日光灯,以控制光照。生测时,通过小的指形管,将稻虱缨小蜂逐头引入“Y”型嗅觉仪的直管内,然后观察并记载该蜂对两臂气味源的选择性。

选择性的标准如下:当某蜂爬至超过某臂的 5 cm 处,并持续 1 min 以上者,就记该蜂对该臂的气味源作出选择。假如在蜂引入后 10 min,该蜂仍不作出选择,则结束对该蜂的行为观察,并将该蜂定为无反应。

测定在(26±1)℃的试验室内进行。每处理测定 32 头,以 8 头为一组。每测定 2 头蜂,用 95%乙醇清洗“Y”型管,并调换嗅觉仪两臂的位置。每测定一组,调换嗅觉仪的两味源瓶位置;每测定两组,清洗两味源瓶并调换作为味源的水稻材料。

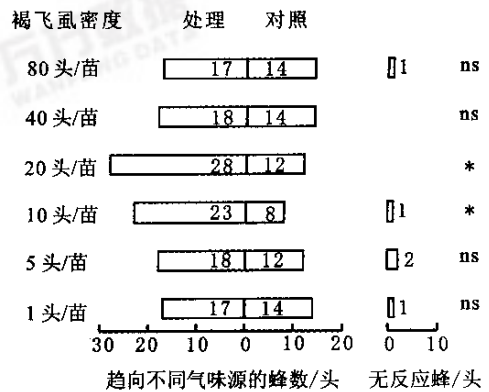
1.7 数据统计

根据试验的设计方法和统计分析原理,利用 DPS 计算机软件^[22]分别对实验所得结果进行 χ^2 检验。

2 结果与分析

2.1 褐飞虱为害程度对水稻挥发物活性的影响

结果表明,当褐飞虱密度为 1 头/稻苗和 5 头/稻苗时,诱导的水稻挥发物对稻虱缨小蜂无明显的引诱作用;当褐飞虱密度为 10 头/稻苗和 20 头/稻苗时,水稻挥发物能明显地引诱稻



*, ns 分别表示处理与对照间差异显著 ($P < 0.05$) 和不显著 (χ^2 检验)。

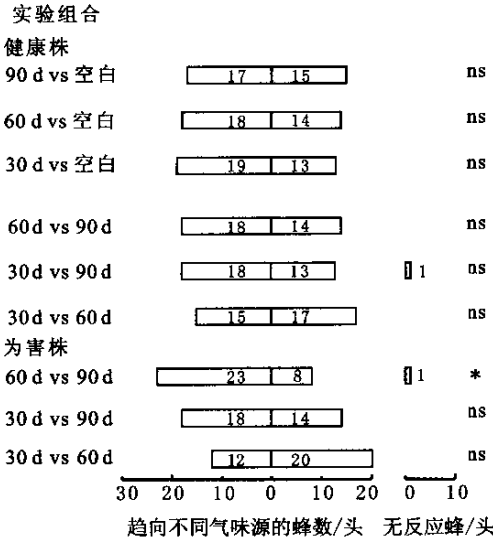
图 1 稻虱缨小蜂对褐飞虱不同为害程度稻株挥发物的行为反应

Fig. 1 Behavioral responses of *Anagrus nilaparvatae* to volatils released from rice plants with different damage levels by *Nilaparvata lugens*

虱缨小蜂;而当密度上升到 40 头/稻苗和 80 头/稻苗时,褐飞虱诱导的水稻挥发物又丧失了对稻虱缨小蜂的引诱作用. 表明不同为害程度的水稻挥发物对稻虱缨小蜂具有明显不同的引诱作用(图 1).

2.2 生育期对水稻挥发物的影响

生育期分别为 30、60 和 90 d 的未处理 TN1 稻株挥发物,与空白对照相比,对稻虱缨小蜂均无明显的引诱作用,并且在生育期间亦无明显差异(图 2). 在受褐飞虱为害后,稻虱缨小蜂对生育期 60 d 的水稻挥发物的趋性明显地强于生育期 90 d 的;对生育期 60 d 的趋性亦大于生育期 30 d 的,但是差异未达到显著水平. 生育期 30 d 与 90 d 之间没有显著差异(图 2).



* , ns 分别表示处理与对照间差异显著 ($P < 0.05$) 和不显著 (χ^2 检验).

图 2 稻虱缨小蜂对不同生育期水稻挥发物的行为反应

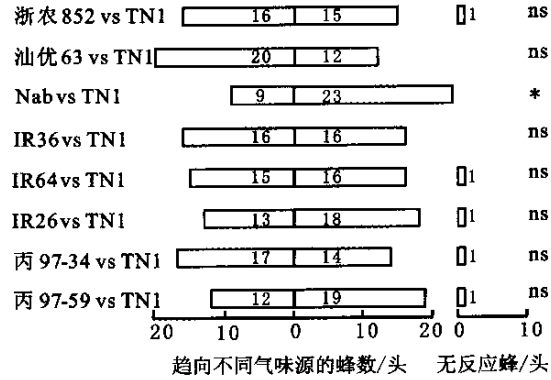
Fig. 2 Behavioral responses of *Anagrus nilaparvatae* to volatiles released from rice plants with different developmental stages

2.3 品种对水稻挥发物的影响

不同水稻品种所产生的挥发物对稻虱缨小蜂的引诱作用具有显著的差异(图 3,图 4). 在不同品种的未处理稻株中,TN1 比 Nabeshi 对稻虱缨小蜂有更强的引诱作用,而其他品种间差异不显著(图 3). 在褐飞虱为害植株中,不同

水稻品种间出现较大差异(图 4). 汕优 63 的挥发物比 TN1 的挥发物对稻虱缨小蜂具更强的引诱作用;而 Nabeshi、IR26 和丙 97-59 等品种则明显弱于 TN1,其他品种间差异不显著.

实验组合

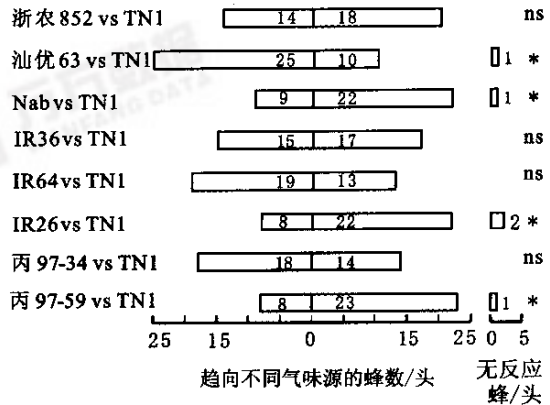


* , ns 分别表示处理与对照间差异显著 ($P < 0.05$) 和不显著 (χ^2 检验).

图 3 稻虱缨小蜂对不同品种未处理稻株挥发物的行为反应

Fig. 3 Behavioral responses of *Anagrus nilaparvatae* to volatiles released from non-manipulated rice plants of different varieties

实验组合



* , ns 分别表示处理与对照间差异显著 ($P < 0.05$) 和不显著 (χ^2 检验).

图 4 稻虱缨小蜂对不同品种褐飞虱为害株挥发物的行为反应

Fig. 4 Behavioral responses of *Anagrus nilaparvatae* to volatiles released from *Nilaparvata lugens*-damaged rice plants of different varieties

3 讨论

本文的研究结果表明,褐飞虱的为害程度对水稻挥发物的活性具有明显的影响.与受害密度 1、5、40 和 80 头/稻苗的趋性相比,受害密度为 10 和 20 头雌成虫/稻苗(为害 1 d)的稻株所释放的挥发物对稻虱缨小蜂有更强的引诱作用.也就是说,稻虱缨小蜂对害虫的为害程度是有所识别的.当害虫的为害程度较轻时(如本试验中每稻株 1 头和 5 头雌成虫为害 1 d),植物产生并释放挥发物所带来的效益可能还不足以弥补自身生产挥发物所造成的能量消耗,因此水稻在每稻苗 1 头和 5 头褐飞虱雌成虫为害 1 d 时未释放出足以引诱稻虱缨小蜂的挥发物,这在其它一些植物中也有类似报道.如蚕豆蚜在密度超过 600 头/株时,才能诱导蚕豆的抗虫性^[23].在 *Quercus garryana* 上,只有叶片损失 > 50% 时才能诱发滞后的诱导抗虫性^[1, 16].至于虫口密度为每稻苗 40 头和 80 头雌成虫(为害 1 d)的稻株挥发物对稻虱缨小蜂无明显引诱作用的问题,可能是稻虱缨小蜂与水稻协同进化的结果.当水稻遭受褐飞虱严重为害时(如本文中的每稻苗 40 和 80 头褐飞虱雌成虫),也许就意味着稻株即将趋于死亡.若此时稻虱缨小蜂再去寄生这些稻株上的褐飞虱卵,则有可能由于稻株的死亡而导致寄主卵无法存活,从而影响其后代的繁衍.因此稻虱缨小蜂回避这些稻株是其生存策略的一种体现.

生育期对水稻挥发物亦有很大的影响.相比水稻的老熟期来说,在水稻的壮年期(60 d 左右)虫害诱导的挥发物对天敌具有更强的引诱作用.这可能与水稻自身的生理生长有关,因为在抽穗以前(60 d 左右以前),水稻主要是营养生长,具有很强的补偿能力,因此当此时水稻遭受害虫为害时,就有可能投入较多的能量来生产挥发性化学物质及其他的防御物质以抵御虫害;而到了抽穗以后,水稻行生殖生长,更多的能量被用于籽实的生长.这时就有可能导致水稻防御能力的下降.至于苗龄 30 d 时水稻挥发物引诱作用较弱,可能与本试验中稻苗的移栽时间有关.在本试验中,我们是在苗龄 20 d

时将稻苗移栽到盆中.因此,一种可能的原因是当 30 d 苗龄(即移栽后 10 d)的稻苗用于试验时,这些水稻苗可能还没有完全从生理上恢复,并由此而导致水稻苗释放挥发物的能力下降.

已有很多研究表明,种类和品种对植物的挥发物组成相具有很大的影响^[1, 10~13, 15, 17, 24].本文的试验亦表明,不同水稻品种的挥发物对稻虱缨小蜂的引诱作用具有明显的差异(图 3, 图 4).尽管在未处理稻株间,只有 TN1 与 Nabeshi 两者间存在差异,但当水稻受褐飞虱为害后,品种间差异趋于明显.这种特征可能与植物挥发物的释放特性有关.由于昆虫与植物间化学通信的协同进化,健康植物挥发物的释放将最小化^[16].结果导致不同寄主植物种类或品种间未处理植株挥发物组成相的差异缩小(即使遗传背景相差较大).反映在天敌的行为反应方面,就有可能表现为对不同寄主植物种类或品种间未处理植株挥发物的嗜好性不明显.植食性昆虫取食诱导的植物挥发物,涉及到植物体内一系列的信号传导途径及众多的防御基因.通过这种“放大”作用,使原本在遗传背景上差异不大的植物种类或品种,亦有可能释放明显不同的挥发物^[25],从而使天敌更易识别不同种类或品种的寄主植物.本试验中,遗传背景非常相似的两个品种丙 97-34 和丙 97-59 对稻虱缨小蜂引诱作用的差异,正好为这方面提供了佐证.已有研究表明,不同水稻品种间无论是健康稻株还是褐飞虱为害稻株,其挥发物的总量和种类均存在差异,且为害株间这种差异更加明显^[17].这为稻虱缨小蜂对不同品种挥发物间的选择反应提供了化学方面的证据.

分析比较稻虱缨小蜂对 9 个品种挥发物行为反应的结果,表明水稻品种的直接抗虱性与其间接抗性间不存在明显的正或负的相关性.例如,尽管比 TN1 对稻虱缨小蜂有更强引诱作用的,同样也为感性品种的汕优 63,并且一些中抗品种,如 Nabeshi 和丙 97-59 比 TN1 引诱作用弱,但同为感性品种的 IR26 却比 TN1 的弱,同时中抗或抗性品种的丙 97-34、IR36 和 IR64 与 TN1 差异不明显.说明影响水稻挥发物组成相的不只涉及到几个基因,而是与众多的基因相关.上面提到的遗传背景非常相似的

丙 97-34 和丙 97-59 对稻虱缨小蜂引诱作用的差异,也正好说明了这一点。

本试验所用的褐飞虱是来自于浙江富阳的自然种群,因此主要是褐飞虱生物型 1 和 2 的混合种群^[20]。这对文中所用的水稻品种都能造成受害。鉴于不同品种对褐飞虱抗性程度不同,因此在比较不同品种挥发物活性的试验中,褐飞虱对不同品种所造成的受害程度都会或多或少地存在差异。正如文中所阐明的褐飞虱不同受害程度会导致水稻挥发物活性的差异(图 1),因此文中所报道的品种间挥发物活性的异同,只能总体地反映了这些品种间遗传背景与受害程度两方面的异同。如中抗品种 Nabeshi 和丙 97-59 的褐飞虱诱导挥发物活性比感性品种 TN1 的弱,除了这 2 个品种的遗传背景与 TN1 存在差异而可能导致挥发物的差异外,还可能包括这些品种间受害程度的不一致。鉴于水稻品种的遗传背景与其挥发物组成相具有很大的相关性^[17],因此本文的结果在一定程度上反映了水稻品种遗传背景对其挥发物活性的影响。当然,要排除因为受害程度不一致而可能导致差异的原因,还有待利用一些能诱导植物释放挥发物的激发子,如植食性昆虫的唾液等,在受害程度标准化的前提下,来比较品种间挥发物组成相的差异。

References:

- [1] LOU Yong-gen, CHENG Jia-an(娄永根,程家安). Behavioral responses of *Anagrus Nilaparatae* Pang et Wang to the volatile of rice varieties[J]. *Entomological Journal of East China*(华东昆虫学报), 1996, 5(1): 60-64. (in Chinese)
- [2] Bernasconi M L, Turlings T C J, Ambrosetti L, et al. Herbivore-induced emissions of maize volatiles repel the corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis* [J]. *Ent Exp Appl*, 1998, 87:133-142.
- [3] Bertschy C, Turlings T C J, Bellotti A C, et al. The role of mealybug-induced cassava plant volatiles in the attraction of the encyrtid parasitoids *Aenasius vexans* and *Apoanagyrus diversicornis*[J]. *J Insect Behavior*, 2001, 14(3): 363-371.
- [4] Blaakmeer A, Geervliet J B F. Comparative headspace analysis of cabbage plants damaged by two species of *Pieris* butterflies. Consequences for in-flight host location by *Cotesia* parasitoids[J]. *Ent Exp Appl*, 1994, 73: 175-182.
- [5] Dicke M. Local and systemic production of volatile herbivore-induced terpenoids; their role in plant-carnivore mutualism[J]. *J Plant Physiol*, 1994, 143: 465-472.
- [6] Dicke M, Baarlen P V, Wessels R, et al. Herbivory induces systemic production of plant volatiles that attract predators of the herbivore: Extraction of endogenous elicitor[J]. *J Chem Ecol*, 1993, 19(3): 581-599.
- [7] Dicke M, Sabelis M W. Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals; Prospects for application in pest control[J]. *J Chem Ecol*, 1990, 16(11): 3091-3118.
- [8] LOU Yong-gen, CHENG Jia-an(娄永根,程家安). Herbivore-Induced Plant Volatiles: Primary Characteristics, Ecological Functions and Their Emission Mechanism[J]. *Acta Ecological Sinica*(生态学报), 2000, 20(6): 1097-1106. (in Chinese)
- [9] Agelopoulos N G, Chamberlain K, Pickett J A, et al. Factors affecting volatile emissions of intact potato plants, *Solanum tuberosum*: variability of quantities and stability of ratios[J]. *J Chem Ecol*, 2000, 26(2): 497-511.
- [10] Erbilgin N, Raffa K F. Effects of host tree species on attractiveness of tunneling pine engravers, *Ips pini*, to conspecifics and insect predators [J]. *J Chem Ecol*, 2000, 26(4): 823-840.
- [11] Kalberer N M, Turlings T C J, Rahier M. Attraction of a leaf beetle (*Oreina cacaliae*) to damaged host plants[J]. *J Chem Ecol*, 2001, 27(4): 647-661.
- [12] Loughrin J H, Manukian A, Heath R R, et al. Volatiles emitted by different cotton varieties damaged by feeding beet armyworm larvae [J]. *J Chem Ecol*, 1995, 21(8): 1217-1227.
- [13] Maeda T, Takabayashi J, Yano S, et al. Response of the predatory mite, *Amblyseius womersleyi* (Acari: Phytoseiidae), toward herbivore-induced plant volatiles; variation in response between two local populations[J]. *Appl Entomol Zool*, 1999, 34(4): 449-454.
- [14] Takabayashi J, Dicke M, Takahashi S, et al. Leaf age affects composition of herbivore-induced synomones and attraction of predatory mites [J]. *J Chem Ecol*, 1994, 20(2): 373-386.
- [15] Takabayashi J, Takahashi S, Dicke M, et al. Developmental stage of herbivore *Pseudaletia separata* affects production of herbivore induced synomone by corn plants[J]. *J Chem Ecol*, 1995, 21(3): 273-287.
- [16] LOU Yong-gen, CHENG Jia-an(娄永根,程家安). Evolution and ecology of allelochemicals and its

prospective for application in IPM[A]. **Proceedings of the National Symposium on IPM in China**(中国有害生物综合治理论文集)[C], Beijing: Agriculture Press of China, 1996, 136-143. (in Chinese)

- [17] LOU Yong-gen (娄永根). Role of infochemicals the host selection behaviour of parasitoid, *Anagrus Nilaparvatae* Pang et Wang(信息化合物在稻虱缨小蜂寄生选择行为中的作用)[D]. Zhejiang: Zhejiang University, 1999. (in Chinese)
- [18] LOU, Yong-gen, CHENG Jia-an, DU Meng-hao, *et al*(娄永根,程家安,杜孟浩,等). Role of rice volatiles in resistance to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [A]. **Proceedings of International Workshop "Varietal Resistance-based Sustainable Insect Pest Management in Rice"**(“抗虫品种为基础的水稻害虫可持续治理技术的开发”国际学术研讨会论文集)[C]. 2001, 40-41. (in Chinese)
- [19] YU Yong-yu, LIN Hang-mei, LIN Zhao-zhong, *et al*(余永钰,林杭美,林朝重,等). Identification and evaluation on the multi-resistance of introduced rice varieties and its utilization[J]. **Journal of Fujian Academy of Agricultural Sciences**(福建省农科院学报). 1995,10(2): 23-26. (in Chinese)
- [20] LU Zhong-xian, YU Xiao-ping, XIE Zhong-ping, *et al*(吕仲贤,俞晓平,谢忠平,等). The different feeding and oviposition behavior among brown planthopper biotypes[J]. **Acta Phytophylacica Sinica**(植物保护学报), 1999, 26(3): 203-207. (in Chinese)
- [21] MA Bo(马波). Volatiles released from rice plants infected by the rice brown planthopper *Nilaparvatae* lugens; primary characteristics and effects of some biotic factors on its activity(褐飞虱诱导的水稻挥发物的基本特性及若干生物因子对挥发物活性的影响)[D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2003. (in Chinese)
- [22] TANG Qi-yi, FENG Ming-guang (唐启义,冯明光). **DPS data proceeding system for practical statistics**(实用统计分析及其DPS数据处理系统)[M]. Beijing: Agriculture Press of China, 1997. (in Chinese)
- [23] WANG Hai-bo, TAO Yun, JIN Sha (王海波,陶芸,金沙). Chitinase in *Vicia faba* leaves: induction by Aphid craccivora - a convergent plant physiological stress reaction[J]. **Chinese Journal of Applied Ecology**(应用生态学报), 1994, 5(1): 68-71. (in Chinese)
- [24] HU Guo-wen, LIANG Tian-xi, LIU Guang-jie, *et al*(胡国文,梁天锡,刘光杰,等). The extraction, chemical analysis and bioassays of secondary volatiles from rice varieties susceptible and resistant to the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae) [J]. **Chinese Journal of Rice Science**(中国水稻科学), 1994, 8(4):223-230. (in Chinese)
- [25] LOU Yong-gen, CHENG Jia-an (娄永根,程家安). Induced Plant Resistance to Phytophagous Insects[J]. **Acta Entomologica Sinica**(昆虫学报), 1997, 40(3): 320-331. (in Chinese)