

稻虱缨小蜂对褐飞虱和白背飞虱卵的识别机制

娄永根¹, 程家安¹, 平霄飞², 汤富彬², 茹水江¹, 杜孟浩¹

(1. 浙江大学应用昆虫研究所, 杭州 310029; 2. 中国水稻研究所植保系, 杭州 310006)

摘要: 研究了室内条件下信息化合物及稻飞虱卵的形态特征在稻虱缨小蜂识别 2 种卵寄主褐飞虱和白背飞虱中的作用。结果表明, 褐飞虱和白背飞虱雌成虫诱导的水稻挥发物对稻虱缨小蜂的引诱作用无显著差异, 各自的引诱比例(头数)分别为 57.50% (23 头) 和 42.50% (17 头)。稻虱缨小蜂对 2 种飞虱 4 组材料, 完整卵、磨碎卵、带卵叶鞘和若虫为害叶鞘的行为反应, 除了在褐飞虱完整卵上的搜索时间极显著地长于在白背飞虱完整卵上的以外, 其余的均不存在差异。挥发物捕集结果表明, 褐飞虱和白背飞虱雌成虫诱导的水稻挥发物组成相非常一致。上述结果表明水稻挥发物、稻飞虱利它素及飞虱卵的形态特征在稻虱缨小蜂识别褐飞虱和白背飞虱卵中的作用不明显。文中就稻虱缨小蜂识别 2 种寄主的机制进行了讨论。

关键词: 褐飞虱; 白背飞虱; 稻虱缨小蜂; 信息化合物; 形态特征

中图分类号: Q966 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296 (2002) 06-0770-07

Discrimination by the egg parasitoid *Anagrus nilaparvatae* between two hosts, *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*

LOU Yong-Gen¹, CHENG Jia-An¹, PING Xiao-Fei², TANG Fu-Bin², RU Shui-Jiang¹, DU Meng-Hao¹ (1. Institute of Applied Entomology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2. Department of Plant Protection, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China)

Abstract: Laboratory experiments were conducted to study the role of infochemicals from rice volatiles and rice planthoppers, and morphological characters of rice planthopper eggs, in host discrimination by the egg parasitoid, *Anagrus nilaparvatae*, between the brown rice planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål), and the white-backed rice planthopper (WBPH), *Sogatella furcifera* (Horváth). The results indicated that there was no significant difference in attractiveness between BPH female-induced rice volatiles and WBPH female-induced rice volatiles, each of which attracted 57.50% (23) and 42.50% (17) of parasitoids tested, respectively. In a comparison of 4 types of BPH and WBPH materials, i.e., intact eggs, mashed eggs, plants with eggs and nymph-damaged plants, parasitoids showed no preference for any material except intact eggs, spending longer time on BPH eggs than on WBPH eggs. The headspace composition of BPH-infected rice plants was similar to that of WBPH-infected rice plants. The results suggest that infochemicals, kairomone from hosts and synomone from host-infected rice volatiles, and the morphological characters of eggs, do not mediate discrimination by the parasitoid between BPH and WBPH. The mechanism of host discrimination by the parasitoid between BPH and WBPH is discussed.

Key words: *Nilaparvata lugens*; *Sogatella furcifera*; *Anagrus nilaparvatae*; infochemicals

在天敌的寄主(猎物)寻找行为过程中, 与寄主有关的化学信息(如寄主诱导的植物挥发物、寄主利它素)和物理信息(如寄主的形状、大小等)起着非常重要的引诱和导向作用。天敌往往能通过识别这些信息的特异性差异, 找到适宜的寄主或猎

物(Dicke, 1994; Turlings and Benrey, 1998; 娄永根等, 1997)。因此, 与寄主相关的化学和物理信息在天敌的寄主选择行为中, 起着非常重要和微妙的作用。

稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* 是褐飞虱 *Ni-*

laparvata lugens 和白背飞虱 *Sogatella furcifera* 卵期的重要寄生蜂。已有研究表明，褐飞虱诱导的水稻挥发物对稻虱缨小蜂具明显的引诱作用（姜永根等，1996），并且其中的 4 种组分，即正-十八烷，芳樟醇，己烯醛及 2-戊烯-1-醇，为主要活性组分（姜永根等，1999）；在褐飞虱和白背飞虱的各虫态及其产物中均存在能激发稻虱缨小蜂触角搜索行为的接触性利它素，其中的一个利它素组分为棕榈油（Lou and Cheng, 2001）。实验室的研究结果表明，当褐飞虱卵与白背飞虱卵共存时，稻虱缨小蜂明显地偏好于寄生前者（罗肖南等，1981；祝增荣等，1993）。罗肖南等（1981）认为褐飞虱卵和白背飞虱卵的卵帽外露与不外露，是导致上述现象的主要原因。然而，究竟稻虱缨小蜂在识别 2 种寄主时，是凭借上述的物理方面信息（卵帽是否外露），还是凭借与 2 种寄主有关的化学方面信息（信息化合物），或者是两方面的结合，则尚不清楚。为此，本文作者比较研究了稻虱缨小蜂对 2 种飞虱诱导的水稻挥发物和 2 种飞虱 4 组材料的行为反应的差异，以期阐明稻虱缨小蜂在识别 2 种飞虱卵中的可能机制。

1 材料与方 法

1.1 水稻品种

为感性品种 TN₁。种子于室内催芽后，于 7 月中旬播于无虫网室的水泥槽内。待秧龄 20 天时，将水稻移栽于塑料盆钵（Φ16 cm × 10 cm）内，每盆约 10 根苗。每天浇水，并分别于移栽后 10 天、20 天和 30 天时施尿素，每次每盆约 0.1 g。至移栽后 35 天，待用。

1.2 供试昆虫

白背飞虱和褐飞虱虫源由中国水稻研究所提供，然后以感性品种 TN₁ 系统饲养。稻虱缨小蜂从浙江大学华家池校区实验农场稻田中诱得，在 28 ± 0.5℃，12L:12D 的光照培养箱内，用 TN₁ 稻苗上的褐飞虱卵繁殖，羽化的成蜂经群体交配后选用触角齐全、大小基本一致、蜂龄在 24 h 内的雌蜂供试。

1.3 固相微萃取

固相微萃取（solid phase microextraction, SPME）购自美国色谱科（Supleco）公司。在捕集挥发物时，以膜厚 100 μm 的聚二甲基硅氧烷作萃取头。对新购置的萃取头，经气相色谱进样口内（250℃）活化

1 h 后，供用。

1.4 水稻挥发物源的准备

共设置 3 种处理的水稻挥发物源，分别为健康稻株、褐飞虱雌成虫和白背飞虱雌成虫为害稻株。1) 健康稻株：取上述移栽后 35 天的盆栽水稻，去除小的分蘖和黄叶，保留每盆 15 根苗左右，并用自来水清洗干净。然后在使用前 4 天罩透明的中间具 2 个通气孔（Φ 5 cm）的塑料罩（Φ 11 cm × 40 cm）。2) 褐飞虱雌成虫为害稻株和白背飞虱雌成虫为害稻株：前处理同健康稻株，然后在每盆水稻上接已过产卵前期的褐飞虱或白背飞虱长翅雌成虫 150 头，外罩透明的中间具 2 个通气孔的塑料罩。待为害 4 天后，供试验用。

1.5 稻虱缨小蜂对 2 种飞虱诱导的水稻挥发物的行为反应

利用“Y”型嗅觉仪测定稻虱缨小蜂对水稻挥发物的行为反应。“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”型管两臂分别通过 Teflon 管与 2 个作为挥发物源的玻璃缸（10 cm × 10 cm × 30 cm）（一个瓶内放褐飞虱雌成虫为害苗，另一个瓶内放白背飞虱雌成虫为害苗）相连。在气流进入味源瓶之前，先经过一个活性炭过滤器（Φ 1.8 cm × 10 cm）和一个蒸馏水瓶，以净化空气和增加空气湿度。每臂的气流流量通过气体流量计控制在 150 mL/min。生测时，取上述 2 种处理的盆栽水稻苗，将稻苗齐泥割断后，各称取 15 g，用蒸馏水湿润的脱脂棉包裹稻苗茎秆的切割处，放入不同的玻璃缸内。整个生测过程在 27 ± 2℃ 的室内进行，并在嗅觉仪上方约 25 cm 处安置一 25 W 白炽灯，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，然后观察记载 10 min 内蜂对两臂气味的选择性。选择性的标准如下：当某蜂到达其中一个臂的 7 cm 以上，并持续 1 min 以上者，就记该蜂对该臂的气味源作出选择。而假如在蜂引入后 10 min，该蜂仍不作出选择，则记该蜂为无反应，并结束对该蜂的行为观察。

为消除因各种因子（如嗅觉仪两臂间光照强度是否一致、嗅觉仪两臂的对称度、蜂相互间的干扰等）影响而可能带来的误差，在整个生测过程中，每测试 2 头蜂，用 99% 的酒精清洗嗅觉仪，并交换嗅觉仪两臂的方向。同时，每测试 10 头蜂，将两气味源交换位置。共生测稻虱缨小蜂 40 头。对所得结果进行 χ^2 检验，以比较两种飞虱诱导的水

稻挥发物对稻虱缨小蜂引诱作用的差异。

1.6 水稻挥发物的提取、分离与鉴定

水稻挥发物的提取, 利用固相微萃取法 (SPME)。用手术刀片对需捕集挥发物的水稻齐泥割断, 称取稻株 15 g, 放入一约 250 mL 的平底玻璃筒 ($\Phi 5 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$) 内。在玻璃筒内滴加蒸馏水 5 mL 后 (以避免机械损伤伤口释放挥发物), 用一中间有一小孔 ($\Phi 1 \text{ mm}$) 的塑料盖盖住玻璃筒。然后将玻璃筒置于一大的水浴锅 ($\Phi 20 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$, 55°C) 中。将固相微萃取的针头插入塑料盖的小孔中, 并小心地将固相微萃取的萃取头推出, 同时用铁架固定固相微萃取。自萃取头推出后开始计时, 对挥发物提取 2 h。整个提取过程在 28°C 的空调室内进行。分别对健康稻株、褐飞虱为害稻株和白背飞虱为害稻株的挥发物进行捕集, 并以不放水稻作为空白对照。各处理重复 3 次。

玻璃筒每提取一个样品, 即用铬酸洗涤液洗涤一次, 蒸馏水清洗 3 次; 萃取头在每捕集一个样品之前, 先在气相色谱进样口内 (250°C) 热解吸 15 min, 以保证萃取头中无杂质和其它污染。

挥发物的分离与鉴定利用气谱 (HP-5890A) - 质谱 (HP-5970B) 联用仪。对固相微萃取捕集的挥发物, 直接在 250°C 的 GC 进样口内进行热解吸, 解吸时间 1 min, 无分流进样。色谱柱利用 HP-5 毛细管柱 ($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm ID}$, 膜厚 $0.25 \mu\text{m}$)。柱温采用程序升温, 40°C (2 min) 至 250°C (2 min), $6^\circ\text{C}/\text{min}$ 。气谱/质谱接口温度 240°C ; EI 离子源, 电离能 70 eV。以 99.999% 高纯氦气作载气。

通过核对 GC-MS 谱库中标准化合物的质谱图, 对挥发物的各组分进行定性, 并根据峰面积对各挥发物组分进行相对定量。

1.7 稻虱缨小蜂对 2 种飞虱 4 组材料的行为反应

利用培养皿法 (娄永根等, 1994), 比较了稻虱缨小蜂对两种飞虱 4 组材料的行为反应。①完整卵: 分别取卵龄 1 天的褐飞虱和白背飞虱产卵苗, 用解剖针从稻苗上挑取白背飞虱卵和褐飞虱卵各 30 粒, 分别放在 $0.5 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 的小滤纸片上, 然后将之拼成 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 的滤纸片供测。②磨碎卵: 在①的基础上, 用镊子将两种卵磨碎, 然后供测。③带卵叶鞘: 分别取卵龄 1 天的褐飞虱和白背飞虱产卵苗, 选择有卵的叶鞘部位, 各剪取总面积约 0.5 cm^2 、卵量在 20 ~ 30 粒的带褐飞虱或白背飞虱卵的叶鞘, 放置方法同①。④若虫为害叶鞘: 分别取白背飞虱和褐飞虱若虫为害 1 天的 TN1 稻苗, 选

择受害后的叶鞘部位, 各剪取总面积约 0.5 cm^2 的受褐飞虱或白背飞虱为害后的叶鞘, 放置方法同①。分别观察记载受测蜂在 2 种飞虱材料上的行为反应及其持续搜索时间和产卵时间, 并以娄永根等 (1994) 方法记录受测蜂在 2 种飞虱材料上各自的反应等级。

2 结果与分析

2.1 稻虱缨小蜂对 2 种飞虱诱导的水稻挥发物的行为反应

结果表明, 褐飞虱和白背飞虱诱导的水稻挥发物对稻虱缨小蜂的引诱作用无显著差异 ($\chi^2 = 0.625$, $0.25 < P < 0.5$), 它们各自引诱稻虱缨小蜂的比例分别为 57.50% 和 42.50%。

2.2 褐飞虱和白背飞虱诱导的水稻挥发物的组分比较

利用固相微萃取法在水稻挥发物中共捕集到 20 多个组分, 其中已定性的组分 16 个 (表 1), 包括烃类化合物 8 种, 醛类和萜类化合物各 3 种, 酮类及其他化合物各 1 种。在这些挥发物组分中, 以烃类, 尤其是烷烃类化合物 (7 种) 为主要组分, 在每个处理中均占 65% 以上。其中, 尤以健康稻株中的含量最高, 超过了 85%。此外, 一种未知物亦在水稻挥发物中占有较高的比例, 尤其在 2 种飞虱的为害株中, 两者均在 15% 以上。

水稻在受褐飞虱或白背飞虱为害后, 其挥发物种类没有发生变化, 但其挥发物总量均明显下降 (表 1)。此外, 各挥发物组分的组成比例亦发生了明显变化。受稻飞虱攻击后, 水稻挥发物中的芳樟醇、十一烯和一种未知物的含量显著或极显著上升; 4 种烷烃类化合物, 正十八烷、正十九烷、正二十烷和正二十一烷则明显下降 (表 1)。

褐飞虱和白背飞虱诱导的水稻挥发物组分的比较结果表明, 两者在总量和种类方面无明显差异 (表 1, 图 1)。在挥发物组分的相对比例方面, 除了十二醛在白背飞虱为害株中的比例极显著高于褐飞虱为害株中的以外, 其余组分均无显著差异。但十二醛在 2 种处理中的比例均很低 ($< 1.0\%$, 表 1)。

2.3 稻虱缨小蜂对 2 种飞虱 4 组材料的行为反应

结果 (表 2) 表明, 在白背飞虱和褐飞虱的完整卵、磨碎卵、带卵叶鞘、若虫为害叶鞘 4 组材料中, 除了稻虱缨小蜂在褐飞虱完整卵上的搜索时间

极显著地长于在白背飞虱完整卵上的搜索时间外， 在其它处理及其它指标间均不存在显著差异。

表1 健康稻株、褐飞虱和白背飞虱为害稻株的挥发物组成 (%)*

Table 1 Compositions (%) of volatiles emitted from headspace of rice plants infested by *N. lugens* and *S. furcifera*

挥发物组分 Volatiles	健康稻株 Healthy plants	褐飞虱为害株 Plants damaged by <i>N. lugens</i>	白背飞虱为害株 Plants damaged by <i>S. furcifera</i>
1. (E)-2-己烯醛 (E)-2-Hexenal	0.15 ± 0.05	< 0.1	< 0.1
2. 2-戊基-呋喃 2-Pentyl-furan	< 0.1	< 0.1	0.34 ± 0.13
3. 柠檬烯 Limonene	< 0.1	< 0.1	0.22 ± 0.07
4. 芳樟醇 Linalool	0.10 ± 0.03 b B	0.61 ± 0.14 a A	0.66 ± 0.18 a A
5. β-环柠檬醛 β-Cyclocitral	< 0.1	< 0.1	< 0.1
6. 1-十一烯 1-Undecene	1.90 ± 0.40 b B	4.15 ± 0.56 a A	3.43 ± 0.64 a AB
7. C ₁₃ H ₂₀ O* *	0.56 ± 0.14 a A	0.77 ± 0.20 a A	0.41 ± 0.11 a A
8. 正十四烷 n-Tetradecane	9.01 ± 1.31 a A	10.52 ± 0.94 a A	7.59 ± 1.30 a A
9. 正十六烷 n-Hexadecane	4.25 ± 0.65 a A	3.54 ± 0.49 a A	3.63 ± 1.25 a A
10. 十二醛 Dodecanal	0.55 ± 0.09 b A	0.30 ± 0.09 b B	0.91 ± 0.12 a A
11. 正十七烷 n-Heptadecane	45.89 ± 4.25 a A	54.55 ± 3.37 a A	52.72 ± 6.46 a A
12. 十四醛 Tetradecanal	2.71 ± 0.64 a A	3.31 ± 0.82 a A	4.89 ± 1.09 a A
13. 正十八烷 n-Octadecane	7.23 ± 1.01 aA	1.11 ± 0.38 b B	1.28 ± 0.24 b B
14. 未知物 Unknown	4.12 ± 1.06 b B	15.72 ± 1.93 a A	18.04 ± 3.08 a A
15. 正十九烷 n-Nonadecane	9.88 ± 1.48 a A	3.05 ± 0.63 b B	3.65 ± 0.77 b B
16. 正二十烷 n-Eicosane	4.87 ± 0.97 a A	0.46 ± 0.12 b B	0.51 ± 0.16 b B
17. 正二十一烷 n-Henicane	1.86 ± 0.35 a A	0.32 ± 0.10 b A	0.24 ± 0.09 b A
峰总面积 (×108) Total area of peaks	8.21 ± 0.82 a A	4.75 ± 1.13 b A	4.04 ± 1.11 b A

* 表内同一行数据 (平均数 ± 标准误) 字母相同者表示差异不显著 (小写字母, $P < 0.05$; 大写字母, $P < 0.01$). 邓肯氏新复极差法) Data (means ± sd (n)) followed by the same letters in the same row show no significant differences (small letters, $P < 0.05$; capital letter, $P < 0.01$, Duncan's new multiple range test)

** C₁₃H₂₀O 是 4-(2, 6, 6-三甲基-1-环己烯-1-基)-3-丁烯-2-酮 C₁₃H₂₀O is 4-(2, 6, 6-trimethyl-1-Cyclohexen-1-yl)-3-Buten-2-one

表2 稻虱缨小蜂对褐飞虱和白背飞虱 4 组材料的行为反应比较*

Table 2 Comparisons of behavioral responses of *A. nilaparvatae* to four types of *N. lugens* and *S. furcifera* materials

供试材料 Materials	受测蜂数 Number of parasitoids tested	飞虱 Rice planthoppers	反应级别 Response levels	产卵管刺探率 (%) Pricking rate	搜索时间 (min) Searching time	产卵时间 (min) Oviposition time
完整卵 intact eggs	20	褐飞虱 BPH	3.90 ± 0.07	90	6.05 ± 1.18	7.90 ± 1.66
		白背飞虱 WBPH	3.80 ± 0.09	80	3.22 ± 0.53	4.10 ± 0.79
			n.s		**	n.s
磨碎卵 mashed eggs	22	褐飞虱 BPH	2.14 ± 0.29	13.64	0.16 ± 0.03	0
		白背飞虱 WBPH	1.82 ± 0.24	0	0.13 ± 0.03	0
			n.s		n.s	n.s
带卵叶鞘 leaf sheath with eggs	28	褐飞虱 BPH	3.29 ± 0.27	64.29	2.73 ± 0.60	4.43 ± 1.23
		白背飞虱 WBPH	2.75 ± 0.34	60.71	3.09 ± 0.60	6.10 ± 1.35
			n.s		n.s	n.s
若虫为害叶鞘 leaf sheath damaged by nymph	23	褐飞虱 BPH	2.62 ± 0.20	0	0.69 ± 0.13	0
		白背飞虱 WBPH	2.57 ± 0.21	0	0.91 ± 0.19	0
			n.s		n.s	n.s

* 表内数据为平均数 ± 标准误; n.s. 和 ** 分别表示两数据间差异不显著 ($P > 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$) (t 检验)

Data in the table are means ± SD; n.s. and ** show no significant difference ($P > 0.05$) and highly significant difference ($P < 0.01$) between two data, respectively (t test)

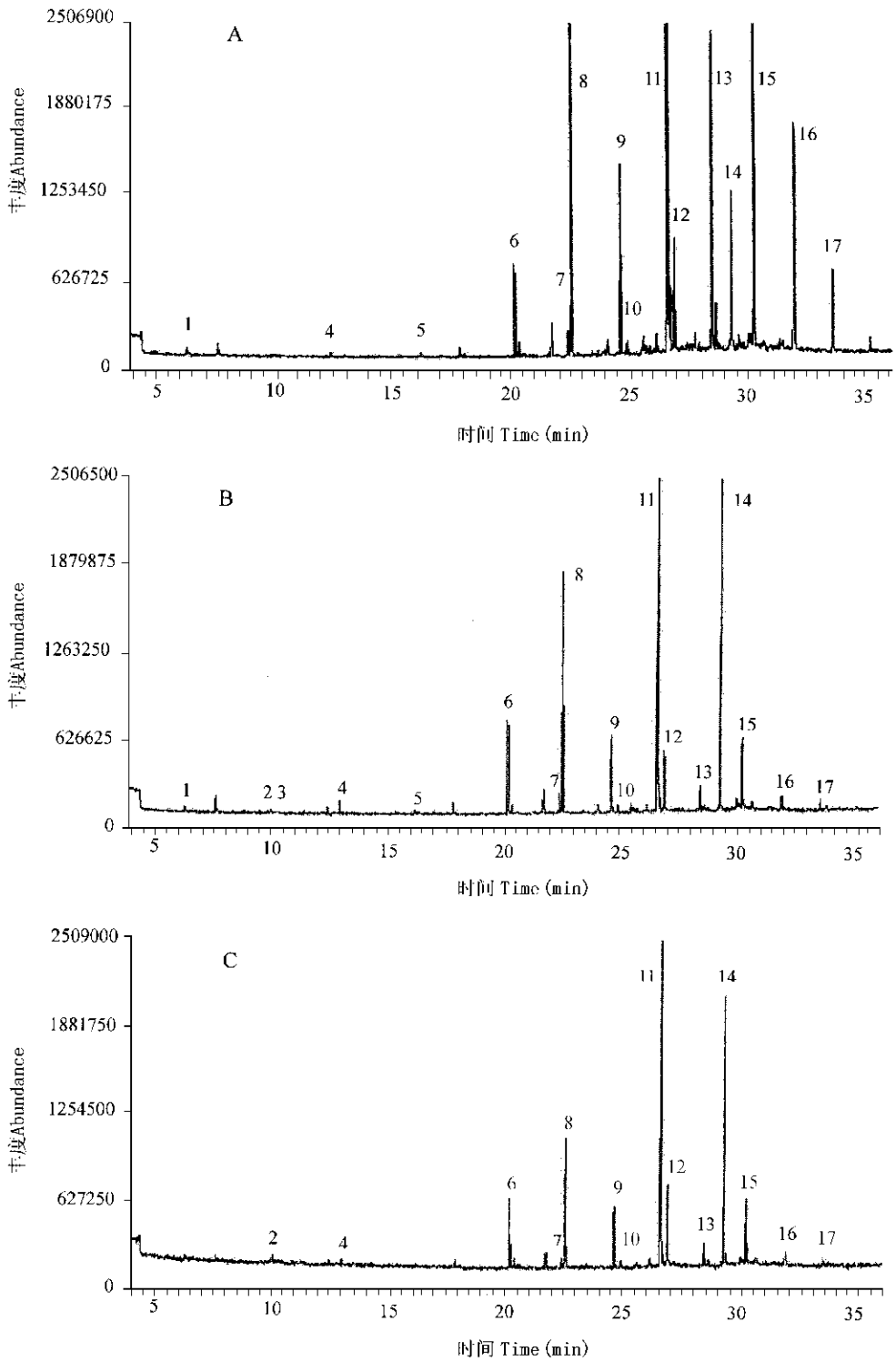


图 1 健康稻株 (A)、褐飞虱 (B) 和白背飞虱 (C) 为害稻株挥发物的 GC-MS 总离子流图

Fig. 1 GC-MS total ionic chromatogram of volatiles collected from headspace of healthy rice plants (A) and plants infested by *N. lugens* (B) and *S. furcifera* (C)

1~19: 同表 1, 指各种挥发物 The numbers 1~19 indicate various volatiles that are the same as in Table 1

3 讨论

水稻在遭受褐飞虱为害时，其挥发物能对稻虱缨小蜂产生明显的引诱作用（姜永根等，1996）。本文通过比较健康稻株与稻飞虱为害稻株的挥发物，证实了水稻在受稻飞虱为害后，其挥发物组成相在量的方面产生了明显的变化。这些变化包括了挥发物总量下降以及各挥发物组成比例发生变化（表1）。也许，正是这种挥发物组成相的变异，导致了稻虱缨小蜂对稻飞虱为害稻株的识别，从而找到寄主。

水稻在受褐飞虱为害后，挥发物总量没有比健康稻株增加，而只是在挥发物组分的组成比例上发生变化（表1），这与许多作者报道的植物在遭受植食性昆虫为害后会释放更多的挥发物的结果不相一致（Dicke, 1994; Turlings and Benrey, 1998）。但类似的结果，也被 Turlings 等（1998）在研究玉米与玉米缢管蚜 *Rhopalosiphum maidis* 的相互关系时所发现。他们发现玉米在遭受玉米缢管蚜的为害时，不仅挥发物的总量没有发生变化，而且挥发物的比例亦没有发生变化。这是否与植食性昆虫的取食习性（吸汁、食叶、钻蛀等）有关，目前尚难定论。但已有研究发现，在同一种寄主植物上取食习性不同的植食性昆虫往往诱导的植物挥发物差异较大，而取食习性类似的植食性昆虫则往往诱导的植物挥发物比较相似（Turlings *et al.*, 1998）。类似于稻飞虱、蚜虫这些刺吸式口器的昆虫，由于其损伤植物的程度比咀嚼式口器的昆虫要小，因此有可能导致植物少的挥发物释放量。至于随着褐飞虱为害的加重，水稻挥发物释放量下降的问题，则主要可能与水稻本身的生理状况有关。严重为害所导致的水稻生理状况的恶化，将导致水稻合成挥发物的能力或可用的能量下降。作为植物，在遭受植食性昆虫攻击时，不增加挥发物的释放量，而只是改变其组分的比例，可能也是一种策略。因为通过改变挥发物的组成相，受害的植物可以同样达到有别于健康植株，并引诱天敌的目的。而这样做，植物还可以节约因增加挥发物释放量而需要的成本（Vet and Dicke, 1992）。由于天敌对不同挥发物组分的反应阈值与最适反应浓度存在差异，因此植物通过改变挥发物中一些组分的比例，而不增加总挥发物释放量，同样可以增强对天敌的引诱作用。因此，植物通过改变挥发物组成相（质、量和组成比例）来

防御植食性昆虫的间接防御策略，有可能因植物、植食性昆虫及其天敌三者的不同组成而发生改变。

本文的行为试验表明，稻虱缨小蜂对褐飞虱与白背飞虱诱导的水稻挥发物的行为反应无明显差异。挥发物的捕集结果亦表明，2种飞虱诱导的水稻挥发物，无论是在总量，还是在种类及相对比例方面，均存在着很大的一致性（表1，图1）。这说明2种飞虱诱导的水稻挥发物的特异性不是很明显。其中的原因可能与2种飞虱的取食习性（吸食韧皮部汁液）比较接近有关。

表2的结果事实上总体地反映了稻虱缨小蜂对2种飞虱的利它素、2种飞虱卵卵帽的外露情况以及2种飞虱诱导的水稻挥发物的反应不存在明显差异。至于稻虱缨小蜂在2种飞虱完整卵上搜索时间的差异，则可能主要与2种卵的物理形状不同有关。但由于稻虱缨小蜂在2种飞虱完整卵和带卵叶鞘上的产卵时间无显著差异，因此在实际过程中，飞虱卵的物理形状不可能是稻虱缨小蜂识别2种飞虱卵的内在机制。同时，也排除了稻虱缨小蜂通过2种飞虱卵的内部生理生化状况识别飞虱卵的可能性。由此，稻虱缨小蜂对2种飞虱卵嗜好性的不同，可能主要与2种飞虱卵在稻株上的分布部位以及2种飞虱卵本身对稻虱缨小蜂免疫能力的强弱有关。在2种飞虱中，褐飞虱卵主要分布在稻株的中下部，而白背飞虱卵在稻株上的分布部位要比褐飞虱卵的偏高（黄次伟等，1984；姜永根等，1996）。在自然界中，任何一种生物都有一种相对较为固定的特定行为模式。因此，2种飞虱卵在稻株上分布部位的不同，有可能导致稻虱缨小蜂对2种飞虱卵寄生率的不同。不同寄主对寄生蜂的免疫能力存在差异。也许白背飞虱卵对稻虱缨小蜂的免疫能力较褐飞虱卵的强，从而使稻虱缨小蜂在前者中能正常发育的比例下降，导致在前者中表现的被寄生率低于后者。这从白背飞虱卵对稻虱缨小蜂的适宜性低于褐飞虱卵的（祝增荣等，1993），可得到部分佐证。当然，具体的机制有待进一步研究。

值得一提的是在本试验中，没有发现寄生经历对稻虱缨小蜂对信息化合物行为反应的影响。在本试验中，我们所用的稻虱缨小蜂都是用 TN_1 稻苗上的褐飞虱卵繁殖的，但无论是测定水稻挥发物还是测定利它素，均没有发现稻虱缨小蜂有对与褐飞虱有关的信息化合物的偏好性。这与很多作者报道的天敌对信息化合物的行为反应受其寄生或捕食经历影响的结果不相一致（Turlings and Benrey, 1998；

Turlings *et al.*, 1993; Vet and Dicke, 1992)。这方面的原因可能与本研究的 2 种飞虱所涉及的信息化合物比较相似有关, 也就是说这一结果可能正好验证了我们前面的结果, 即 2 种飞虱诱导的水稻挥发物与 2 种飞虱的利它素无明显差异。

参 考 文 献 (References)

- Dicke M, 1994. Local and systemic production of volatile herbivore-induced terpenoids: their role in plant-carnivore mutualism. *J. Plant Physiol.*, 143: 465 - 472.
- Huang C W, Feng B C, Wang H D, 1984. Preliminary observation of oviposition behavior of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth). *Entomological Knowledge*, 5: 193 - 196. [黄次伟, 冯炳灿, 王焕弟, 1984. 白背飞虱产卵习性的初步研究. 昆虫知识, 5: 193 - 196]
- Lou Y G, Cheng J A, 1994. The kairomone from brown planthopper and its relation to rice varieties. *Acta. Phyto. Sin.*, 21 (4): 327 - 332. [娄永根, 程家安, 1994. 褐飞虱利它素及其与水稻品种的关系. 植物保护学报, 21 (4): 327 - 332]
- Lou Y G, Cheng J A, 1996. Behavioral response of *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang to the volatile of rice varieties. *Ent. J. East China*, 5 (1): 60 - 64. [娄永根, 程家安, 1996. 稻虱缨小蜂对水稻品种挥发物的行为反应. 华东昆虫学报, 5 (1): 60 - 64]
- Lou Y G, Cheng J A, 1996. Effect of morphological characters of rice varieties of functional response of *Anagrus nilaparvatae*. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 7 (1): 61 - 66. [娄永根, 程家安, 1996. 水稻品种形态特征对稻虱缨小蜂功能反应的影响. 应用生态学报, 1996, 7 (1): 61 - 66]
- Lou Y G, Cheng J A, 1997. Interactions among host plants, phytophagous insects and natural enemies and relevant research methods. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 8 (3): 325 - 331. [娄永根, 程家安, 1997. 植物-植食性昆虫-天敌三营养层次的相互作用及其研究方法. 应用生态学报, 8 (3): 325 - 331]
- Lou Y G, Cheng J A, 2001. Host-recognition kairomone from *Sogatella furcifera* for the parasitoid *Anagrus nilaparvatae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 101 (1): 98 - 106
- Lou Y G, Cheng J A, Du M H, 1999. Role of rice volatiles in host selection behavior of the parasitoid *Anagrus nilaparvatae*: isolation and identification of some active components in rice volatiles. In: Zhou G Z ed. Proceedings in Science and Technology and Social Economy Development Beyond 2000. First Annual Meeting of Science Society of China. Beijing: Science and Technology Press of China. 608. [娄永根, 程家安, 杜孟浩, 1999. 水稻挥发物在稻虱缨小蜂寄主选择行为中的作用: 挥发物的分离、鉴定及一些活性组分的确定. 见: 周光召主编. 面向 21 世纪的科技进步与社会经济发展. 中国科协首届学术年会. 北京: 中国科学技术出版社, 608]
- Luo X N, Zhuo W X, 1981. Studies on parasitoids of rice planthoppers *Anagrus* spp. Preference for hosts of three species *A.* spp. *Entomological Knowledge*, 18: 3 - 6. [罗肖南, 卓文禧, 1981. 稻虱缨小蜂的研究 (三) 三种缨小蜂寄生行为的选择性. 昆虫知识, 18 (1): 3 - 6]
- Turlings T C J, Benrey B, 1998. Effects of plant metabolites on the behavior and development of parasitic wasps. *Ecoscience*, 5 (3): 321 - 333.
- Turlings T C J, Bernasconi M, Bertossa R *et al.*, 1998. The induction of volatile emissions in maize by three herbivore species with different feeding habits: possible consequences for their natural enemies. *Biological Control*, 11: 122 - 129.
- Turlings T C J, Wackers F L, Vet L E M *et al.*, 1993. Learning of host-finding cues by hymenopterous parasitoids. In: Papaj D R, Lewis A eds. *Insect Learning: Ecological and Evolutionary Perspectives*. New York: Chapman & Hall. 51 - 78.
- Vet L E M, Dicke M, 1992. Ecology of infochemicals use by natural enemies in a tritrophic context. *Annu. Rev. Entomol.*, 37: 141 - 172.
- Zhu Z R, Cheng J A, Chen X, 1993. Host preference and suitability of *Anagrus nilaparvatae*. *Acta. Entomol. Sin.*, 36 (4): 430 - 436. [祝增荣, 程家安, 陈秀, 1993. 稻虱缨小蜂的寄主选择性和适宜性. 昆虫学报, 36 (4): 430 - 436]