

抗白背飞虱水稻品种挥发性次生物质的提取、组分鉴定与生测

胡国文 梁天锡 刘光杰 楼小华 马巨法 吴园生 唐健

(中国水稻研究所, 杭州 310006)

The Extraction, Chemical Analysis and Bioassays of Secondary Volatiles from Rice Varieties Susceptible and Resistant to the Whitebacked Planthopper, *Sogatella furcifera*(Horváth)(Homoptera: Delphacidae)

HU Guowen, LIANG Tianxi, LIU Guangjie, LOU Xiaohua, MA Jufa, WU Yuansheng, TANG Jian

(China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006)

Abstract: The rice plants of susceptible variety TN1 and resistant varieties Rathu Heenati (RHT), IR64 and Nabeshi to the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera*, were extracted using a device of steam distillation-simultaneous extraction with diethyl ether. The oily extracts were obtained through further extraction and condensation of steam distillates and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The analytical results indicate that the composition of 36 secondary volatiles among 64 detected compounds was 9 alcohols, 9 aldehydes, 7 ketones, 4 esters, 3 hydrocarbons, 2 acids, 1 olefin and heterogeneous ring compound. The volatile chemicals with larger quantities were 2-hexenal, irisone, *trans*-hexenol, phytol, 3,5,5-trimethyl-3-cyclohexadiene-1-ol and methyl salicylate. The two-choice tests of *S. furcifera* on TN1 plants treated with steam distillates extracts (SDE) indicate that the preference of *S. furcifera* to SDE of both resistant and susceptible varieties did not differ significantly. The tests of *S. furcifera* orientation by an olfactometer reveals that phenacyl alcohol and hexenal attracted significantly more insects than check acetone. *S. furcifera* excreted significantly more honeydew on the untreated TN1 and TN1 plants treated with acetone and SDE of TN1 than on TN1 plants treated with SDEs of Nabeshi and IR64. *S. furcifera* ingested less from the nutritional solution incorporated with SDEs and the selected volatiles than from nutritional solution alone. The SDE of resistant RHT possessed the strongest antifeeding effect to *S. furcifera*, following by β -irisone and hexenal.

Key words: feeding response; insect resistance; orientation; secondary volatiles; *Sogatella furcifera*

摘 要: 采用水蒸汽蒸馏-乙醚同时萃取装置对抗白背飞虱品种 Rathu Heenati (RHT), IR64, Nabeshi 和感虫对照品种 TN1 稻株进行挥发性次生物质提取, 浓缩所得精油, 经“气谱-质谱”(GC-MS)联机检测出 64 个有机的化学成分, 其中 36 种主要分子结构为: 9 种醇, 9 种醛, 7 种酮, 4 种酯, 3 种烷烃, 2 种酸, 烯炔和杂环化合物各 1 种。2-己烯醛、 β -紫罗兰酮、叶醇(反式)、叶绿醇、3,5,5-三甲基-3-环己烯-1-酮和水杨酸甲酯的含量较高。将蒸馏提取物回喷在 TN1 稻株上, 白背飞虱对抗虫和感虫稻株蒸馏提取物的趋性没有显著差异。嗅觉仪测定飞虱的趋性结果表明, 单体化合物苯甲醇和己烯醛比对照丙酮更易吸引白背飞虱。在回喷 TN1 蒸馏提取物、丙酮溶液和未处理的 TN1 稻株上, 白背飞虱分泌的蜜露量明显地较在 Nabeshi 和 IR64 蒸馏提取物处理过的 TN1 稻株上分泌的高。白背飞虱从掺有蒸馏提取物和挥发物单体的营养液中吸食的量均比从单纯营养液中的少; 抗虫品种 RHT 蒸馏提取物对白背飞虱拒食作用最强, β -紫罗兰酮和己烯醛次之。

关键词: 白背飞虱; 挥发性次生物质; 趋性; 取食反应; 抗虫性

白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth), 在我国南方及东南亚国家产稻区, 特别是在种植抗褐稻虱水稻品种的地区, 正成为一种愈来愈严重的水稻害虫^[1,4]。在综合防治中, 应用

抗虫品种防治飞虱越来越受到重视。近 10 年

1994 年 4 月 21 日收到。Received April 21, 1994

注: 本研究属浙江省自然科学基金资助项目。

来,国内外对水稻品种抗白背飞虱机理进行了广泛的研究,认为拒异性和抗生性是抗虫机理的主要方面。白背飞虱成虫与若虫对寄主的趋性和取食行为均受到稻株释放的挥发性次生物质的影响^[5,8]。Khan等(1986)和Ye(1988)报道当抗虫稻株的蒸馏提取物回喷在感虫品种TN1上时可影响白背飞虱的趋性与取食反应。Saxena等(1985)研究了抗褐飞虱品种和感虫品种的蒸馏提取物,品种间在色谱峰数和峰面积上具有显著差异。目前,国内外对抗白背飞虱和水稻蒸馏提取物的有机组分及其对害虫的作用尚属未知。其中的主要挥发物单体对白背飞虱和其它害虫的作用也还不清楚。有鉴于此,我们于1991~1993年采用蒸馏法提取了抗与感白背飞虱品种的挥发性次生物质,并鉴定化学结构,测定了白背飞虱对提取物和部分单体挥发物的趋性和取食反应。

1 材料与方 法

1.1 稻株挥发性次生物质的提取及组分鉴定

采用抗白背飞虱品种 Rathu Heenati (RHT), IR64, Nabeshi 和感虫对照品种 TN1。选取移栽后 40~50 d 新鲜稻株的叶片和叶鞘组织,将其剪成 1 cm 的小段,在天平上称取 200 g,置于 2000 mL 玻璃蒸馏烧瓶中,加入 150 mL 蒸馏水,将烧瓶放入恒温(105~110℃)电热套中。在水蒸汽蒸馏-乙醚同步萃取装置中进行蒸馏提取约 3 h,收集乙醚提取液,提取液以无水硫酸钠脱水。24 h 后,转至 K-D 瓶中用氮气流缓缓吹气浓缩至 0.5 mL,待 GC-MS 进样分析鉴定。

气谱(HP5890A)-质谱(HP5970B)联机分析蒸馏提取物中的有机组分。每个提取物样品均进样 0.1 μ L。熔酯石英毛细管柱 PEG20M, 0.2 mm \times 25 m;载气:高纯氮气(99.999%);柱头压为 30kPa,无分流进样;进样口温度 190℃,柱温采用程序升温,

50℃(3 min)至 180℃(10 min),3℃/min;气谱/质谱接口温度 195℃;质谱离子源 EI70eV,质量范围 33~300amu,扫描速率为 4 次/s。

1.2 蒸馏提取物和单体化合物的生物学测定

1.2.1 成虫趋性

回喷蒸馏提取物 采用塑料盆(22cm)与透明塑料罩(直径 20 cm \times 高 35 cm)组成的装置来测定白背飞虱对抗虫与感虫稻株蒸馏提取物的趋性反应。在测试前 10 d,每盆移栽稻苗 1 株。测定时,去掉稻苗的分蘖后,在主茎上均匀喷雾 1 mL 稀释 3 倍的蒸馏提取液。对照喷等量的丙酮,在室温下搁置约 5 min,待丙酮完全挥发后,从接虫孔分别接入 20 头当天羽化的雌虫(饥饿,但喂水 2 h)。2 h 后,记录处理与对照稻株上的雌虫数。每处理重复 4 次。

嗅觉仪 嗅觉仪由一只三通玻璃管(直径 2 cm)和送出清洁空气的装置组成。分别将蒸馏提取液、已知单体挥发物的丙酮溶液与丙酮对照点滴在定性滤纸上,室温下搁置 2 min 左右。待丙酮挥发后,分别放入嗅觉仪的支管(10 cm)基部,用尼龙纱封口。将 10 头当天羽化的雌虫(饥饿,但喂水 2 h)放在主管的基部,亦用尼龙纱封口。打开送气阀往两只支管均匀输送清洁空气。5 min 后,记载各支管里的雌虫数。每处理重复 3 次。

1.2.2 蜜露测定

回喷蒸馏提取物 将播种后 50 d 的 TN1 稻苗单株移入一只小瓷钵里,去掉分蘖后留下主茎。采用昆虫取食室方法收集飞虱分泌的蜜露。在稻茎基部放置一片定性滤纸。每只取食室(一个重复)中接入 5 只饥饿 3~4 h,但喂水的新近羽化雌虫。24 h 后,收集滤纸。将滤纸浸入 1% 茚三酮的丙酮溶液里片刻,取出后在酒精灯上烘烤,蜜露斑点将变为紫蓝色。用一张网状刻度的透明塑料片测量蜜露斑面积。每个品种重复 5 次。

加入液体饲料 将蒸馏提取物加入蔗糖

(7.5%,W/V)和天冬氨酸(0.5%,W/V)的营养液饲料中。以等量的蔗糖和天冬氨酸营养液作对照饲料。饲料的pH值均用氢氧化钾(KOH)溶液调到7.0~7.2。测定飞虱成虫对这两种饲料的取食反应是在一种特殊取食室里进行的。这种取食室是用一只玻璃管(直径2 cm×高2 cm)的顶端用拉得极薄的parafilm膜密封,其底部放入一只周边黑漆过的称量杯里。4只当天羽化的雌虫(饥饿但饲水3~4 h)放入一个取食室。0.1~0.2 mL饲料液体加在玻璃管顶端的膜上,再在其上加盖另一块膜,把饲料液体夹在其中。飞虱取食后分泌的蜜露滴落在称量瓶底上。一个取食室为一个重复,每处理设5个重复。飞虱取食24 h后,移去玻璃管和飞虱。每只称量杯里加入2 mL蒸馏水,用手水平摇动数秒钟,将其转移入一只玻璃试管(直径1.5 cm×高2 cm)里。每只试管中加入0.1 mL的97.1%苯酚和2 mL的浓硫酸,混合液的颜色迅速变为黄褐色。待混合液冷却至室温后,再摇动均匀。在分光光度计上读取混合液的吸收度,波长为490 nm。通过蔗糖与吸收度标准曲线求得的线性方程计算出白背飞虱分泌的蜜露量。

2 结 果

2.1 蒸馏提取物化学成分组成

GC-MS从抗白背飞虱品种RHT, IR64和Nabeshi与感虫品种TN1稻株蒸馏提取物中检测到64个组分,对其中36种主要成分的分子结构进行了鉴定,其中醇类9种,醛类9种,酮类7种,酯类4种,烷烃类3种,酸2种,烯烃和杂环类各1种(图1和表1)。以面积归一法计算相对含量较高的化合物有:2-己烯醛, β -紫罗兰酮,叶醇(反式),叶绿醇,3,5,5-三甲基-3-环己烯-1-酮和水杨酸甲酯。在RHT, IR64和Nabeshi的蒸馏提取物中苯乙醛和苯甲醇含量较TN1为高。2,6,6-三甲基-1,3-环己二烯-1-甲醛和3,5,5-三甲基-3-环己烯-1-酮仅在TN1

的蒸馏提取物中检出。

2.2 蒸馏提取物的生测

2.2.1 趋性反应

白背飞虱对蒸馏提取物与丙酮的两向自由选择实验表明,趋向并定居在抗虫与感虫品种的蒸馏提取物回喷在TN1上的成虫数明显地较用丙酮喷在TN1上的多,而趋向并定居在抗虫品种IR64和Nabeshi与感虫品种TN1的蒸馏提取物回喷在TN1上的飞虱数量几乎相等,没有显著差异(图2)。嗅觉仪测定发现,白背飞虱明显地趋向于稻株蒸馏提取物,不管品种的抗性如何。白背飞虱趋向单体挥发物苯甲醇和己烯醛的数量也明显地比丙酮多(表2),而趋向 β -紫罗兰酮、水杨酸甲酯和苯乙醛的飞虱比丙酮少,但未达到显著水平。

2.2.2 取食反应

白背飞虱在回喷TN1蒸馏提取物、丙酮溶液和未处理的TN1稻株上分泌蜜露斑面积,明显地大于用Nabeshi和IR64蒸馏提取物回喷在TN1的稻株(表3)。白背飞虱从掺有蒸馏提取物和挥发物单体的营养液中吸食后分泌的蜜露量均明显地低于从单纯营养液中吸食后分泌的量;取食掺有抗虫品种RHT蒸馏提取物的营养液后分泌的蜜露量最低,其次是 β -紫罗兰酮、己烯醛和TN1蒸馏提取物(表4)。

3 讨 论

本项研究结果表明,抗虫与感虫稻株的挥发性次生物质影响白背飞虱对寄主的趋性与取食反应。当白背飞虱在抗虫与感虫品种的蒸馏提取物之间进行自由选择时,飞虱的趋性没有偏向性。采用蒸馏提取物和丙酮回喷感虫品种TN1时,不管品种的抗性如何,白背飞虱都趋向蒸馏提取物回喷的TN1。这与Saxena等(1985),Ye(1988)和Liu(1990)分别在褐飞虱和白背飞虱上的研究结果相吻合。将蒸馏提取物和丙酮回喷在TN1上和将其掺入蔗糖与天冬氨酸的营养

表1. 抗白背飞虱水稻品种Rathu Heenati (RHT), IR64, Nabeshi和感虫品种TNI 蒸馏提取物的挥发性次生物质 GC-MS 鉴定结果

Table 1. The composition of secondary volatiles of steam distillate extracts of rice varieties Rathu Heenati (RHT), IR64, Nabeshi resistant to *Sogatella furcifera* and susceptible TNI by GC-MS

峰号 Peak No.	保留时间 Retention time(min)	化合物 Compound	水稻品种 Rice variety			
			RHT	IR64	Nabeshi	TNI
2	9.63	2-乙基-呋喃	*	*	*	*
3	12.22	2-戊烯-1-醇	*	*	*	*
4	13.04	己醛	*	*	*	*
6	15.46	2-己烯醛	**	**	**	**
7	16.07	叶醇(顺式)	*	*	*	*
8	16.73	叶醇(反式)	**	**	**	*
10	22.13	7-辛烯-4-醇	*	*	*	*
11	22.44	5-乙烯基-1-甲基-环庚烯	*	*	*	*
12	23.55	苯乙醛	**	**	**	*
13	23.65	苯甲醇	**	**	**	*
14	23.81	3,5,5-三甲基-3-环己烯-1-酮	-	-	-	*
16	25.80	3,5-辛二烯-2-酮	*	*	*	*
17	26.27	壬醛	*	*	*	*
18	26.38	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	*	*	*	*
19	26.51	3,5-二甲基-环己醇	*	*	*	*
20	26.77	3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮	*	*	*	*
22	27.87	2,2,6-三甲基-1,4-环己二酮	*	*	*	*
23	29.48	水杨酸甲酯	**	**	**	**
24	29.66	2,6,6-三甲基-1,3-环己二烯-1-甲醚	-	-	-	*
25	30.27	正十二烷	*	*	*	*
26	30.40	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-甲醚	*	*	*	*
28	31.99	水杨酸乙酯	*	*	*	*
29	33.21	乙基苯甲酸	*	*	*	*
30	36.35	正十四烷	*	*	*	*
33	38.40	紫罗兰酮	*	**	**	**
34	38.93	正十三烷	*	*	*	*
37	40.46	3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-醇	*	*	*	*
40	41.55	正十四烷	*	*	*	*
44	43.66	2-十五烷酮	*	*	*	*
47	46.36	正十六烷	*	*	*	*
50	47.09	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	*	*	*	*
53	48.54	正十九烷	*	*	*	*
56	49.56	软脂酸	*	*	*	*
57	50.24	软脂酸乙酯	*	*	*	*
60	53.44	叶绿醇	**	**	**	**
62	54.46	9,12,15-十八烷三烯酸乙酯	*	*	*	*

* 表示相对量, -表示未检出。 * indicates relative quantity, - indicates not detected.

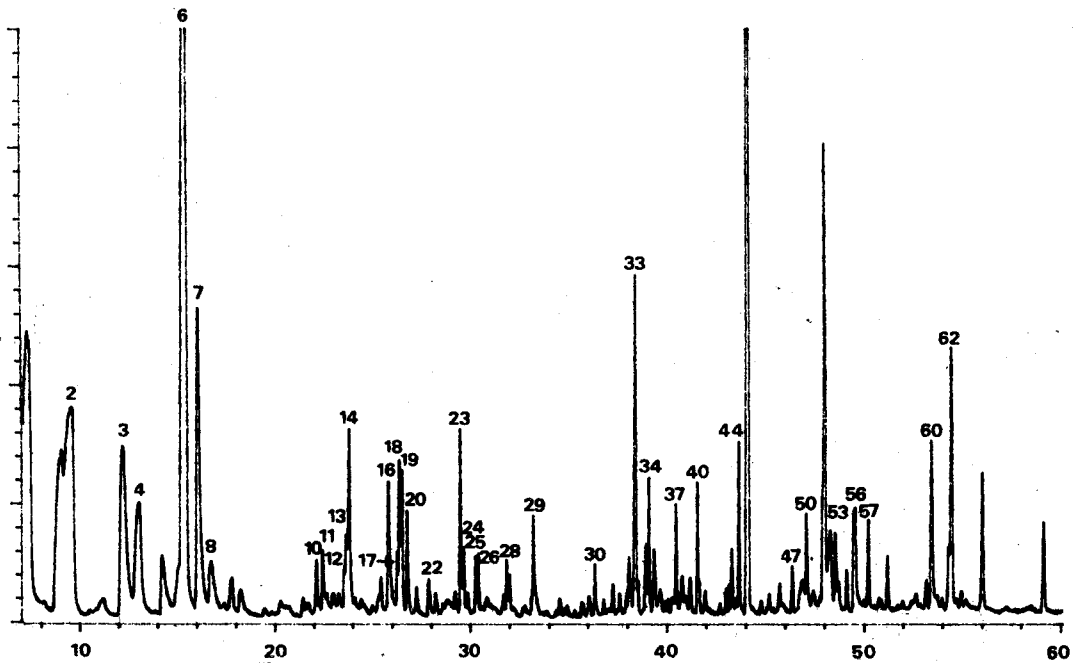


图 1 稻株蒸馏提取物的 GC-MS 总离子流图。图中峰的编号表示已鉴定出的化合物,参见表 1

Fig. 1. GC-MS total ion chromatogram (TIC) of steam distillate extract of rice plants. The numbered peaks in the TIC indicate identified compounds, referring to Table 1

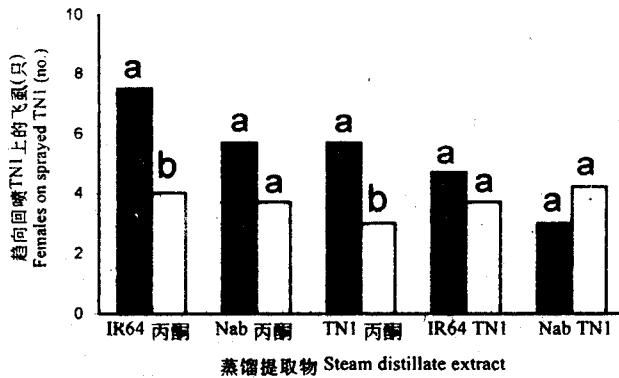


图 2 趋向并定居在抗虫与感虫品种蒸馏提取物回喷在 TN1 上的白背飞虱数

Nab = Nabeshi. 同一趋性实验里,平均数长方形上具有相同英文字母者,表示这两个平均数之间没有显著差异,最小显著差数法, $P = 0.05$

Fig. 2. Females of *S. furcifera* oriented and settled on TN1 plants sprayed with steam distillate extracts of resistant and susceptible varieties, Nab = Nabeshi. Within an orientational test, columns with the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test, $P = 0.05$

表2 白背飞虱对抗虫品种 Rathu Heenati(RHT)和感虫品种 TN1 蒸馏提取物及单体挥发物的趋性反应

Table 2. Orientational response of *Sogatella furcifera* to steam distillate extracts from rice plants of resistant Rathu Heenati (RHT) and susceptible TN1, and individual volatiles

趋性测验 Orientational test	趋向挥发物质的白背飞虱(%) ¹⁾ Females oriented to volatile source ¹⁾
(1)RHT	46.89 (53.3) a
丙酮 Acetone	28.86 (23.3) b
(2)TN1	50.77 (60.0) a
丙酮 Acetone	26.56 (20.0) b
(3)RHT	43.00 (46.6) a
TN1	41.10 (43.3) a
(4)苯甲醇 Phenacyl alcohol	45.00 (50.0) a
丙酮 Acetone	24.04 (16.6) b
(5)叶醇(顺式) Hexenol	43.00 (46.6) a
丙酮 Acetone	37.20 (36.6) a
(6)己烯醛(反式) Hexenal	45.00 (50.9) a
丙酮 Acetone	28.86 (23.3) b
(7)壬醛 Nonaldehyde	43.00 (46.6) a
丙酮 Acetone	37.20 (36.6) a
(8) β -紫罗兰酮 β -Irisone	33.40 (30.3) a
丙酮 Acetone	37.20 (36.6) a
(9) α -紫罗兰酮 α -Irisone	46.72 (53.3) a
丙酮 Acetone	35.06 (33.3) a
(10)水杨酸甲酯 Methyl salicylate	31.00 (26.6) a
丙酮 Acetone	41.10 (43.3) a
(11)苯乙醛(50%) Phenylacetaldehyde	28.86 (23.3) a
丙酮 Acetone	35.06 (33.3) a

¹⁾平均数为 Arcsine 转换值,括弧里的数值为百分率真值。同一趋性测验里,平均数后具有相同英文字母则表示平均数之间没有显著差异,最小显著差数法, $P=0.05$ 。

¹⁾Means represented in Arcsine percentage transformed value and figures in parentheses represented actual percentage. Within an orientational test, means followed by the same letters are not significantly different, LSD, $P=0.05$.

液里,测定白背飞虱取食后分泌的蜜露量均表明,抗虫稻株的蒸馏提取物对白背飞虱具有明显的拒取食作用。同样,在褐飞虱^[11]、二点黑尾叶蝉^[5]和白背飞虱^[13]上都获得了相似的结果。

GC-MS 检测抗虫与感虫品种的蒸馏提取物得到 64 个峰。鉴定与确认了其中 36 个化合物的名称和结构,约占检测到峰的 50%。水稻蒸馏提取物中发现的普通植物挥

发物,如己醛、2-己烯醛、壬醛和叶醇,在其它植物的提取物中也有报道^[2,3,12]。用 8 种收集到的化合物测定白背飞虱的趋性和取食反应,发现苯甲醇和己烯醛对飞虱具有明显的引诱作用; β -紫罗兰酮和己烯醛具有显著的拒食作用。由此初步认为,己烯醛可能是影响白背飞虱趋向寄主并在其上取食的一种重要的挥发性次生物质。到目前为止,我们虽然已经鉴定出了 36 种挥发物,但还没有标

表3 白背飞虱在抗虫与感虫品种蒸馏提取物喷雾处理过的感虫 TN1 稻株上分泌的蜜露面积

Table 3. Honeydew excreted by *Sogatella furcifera* on susceptible TN1 plants sprayed with steam distillate extracts (SDE) of resistant and susceptible rice varieties

处 理 Treatment	蜜露斑面积(mm ² /m ² ·24 h) Areas of honeydew spots ($\bar{X} \pm sd$)
Nabeshi 提取物喷雾在 TN1 上 Sprayed TN1 with Nabeshi SDE	6.1 ± 1.4 a
IR64 提取物喷雾在 TN1 上 Sprayed TN1 with IR64 SDE	7.2 ± 1.1 a
TN1 提取物喷雾在 TN1 上 Sprayed TN1 with TN1 SDE	30.9 ± 3.6 b
丙酮喷雾在 TN1 上 Sprayed TN1 with acetone	35.6 ± 2.4 b
未处理 TN1(对照) Non-treated TN1(Control)	30.6 ± 8.6 b

注: 平均数后具有相同英文字母则表示平均数之间没有显著差异, P=0.05。

Means followed by the same letters are not significantly different, P=0.05.

表4 白背飞虱在加入蒸馏提取物和单体挥发物的营养液(7.5%蔗糖+0.5%谷氨酸)上分泌的蜜露

Table 4. Honeydew excreted by *Sogatella furcifera* on nutritional solutions (7.5% sucrose+0.5% glutamic acid) incorporated with steam distillate extracts (SDE) and individual volatiles

处 理 Treatment	蜜露($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h}$) Honeydew ($\bar{X} \pm sd$)
TN1 蒸馏提取物 TN1 SDE	2.18 ± 0.25 abc
RHT 蒸馏提取物 RHT SDE	0.98 ± 0.24 d
苯甲醇 Phenacyl alcohol	2.44 ± 0.21 abc
叶醇(顺式) <i>cis</i> -Hexenol	2.31 ± 0.51 abc
己烯醛(反式) <i>trans</i> -Hexenal	1.99 ± 0.44 abc
壬醛 Non aldehyde	3.15 ± 0.77 e
β -紫罗兰酮 β -Irisone	1.84 ± 0.44 a
α -紫罗兰酮 α -Irisone	2.29 ± 0.41 abc
水杨酸甲酯 Methyl salicylate	2.85 ± 0.34 cc
苯乙醛 Phenylacetadhyde	2.63 ± 0.39 bcc
纯营养液(对照) Nutritional solution (Control)	4.28 ± 0.19 f

注: 平均数后具有相同英文字母则表示平均数之间没有显著差异, P=0.05。

Means followed by the same letters are not significantly different, P=0.05.

准化合物来对抗虫与感虫品种的蒸馏提取物中的各化合物进行定量和对比分析。同时, 由于这些化合物单体较难收集, 人工合成费用较高等, 所以, 在本项研究中用来做生测的

挥发物单体较少, 影响了正确地评价和判断抗虫品种中对白背飞虱起主要作用的挥发性次生物质。在抗虫品种蒸馏提取物中含量较高的苯甲醇具有吸引白背飞虱的作用, 还有

待进一步验证。感虫品种 TN1 蒸馏提取物中的特征性挥发物, 2,6,6-三甲基-1,3-环己二烯-1-甲醛和 3,5,5-三甲基-3-环己烯-1-酮对白背飞虱的趋性和取食作用如何? 还有待研究。

本研究在水稻品种抗白背飞虱机理的生化方面进行了探索, 证明稻株的挥发性次生物质对白背飞虱趋向寄主及其在上的取食行为具有重要的意义, 抗虫品种与感虫品种在挥发性次生物质的数与量上的差异可能是水稻品种抗白背飞虱机理的一个重要方面。

4 参考文献

- 1 周群喜, 姜海洲, 王泉章等. 1991年洪灾后稻飞虱大发生. 植物保护, 1992, 18(1):51
- 2 Buttery R G, L Ling. Corn leaf volatiles: Identification using tenax trapping for possible insect attractant. *J Agric Food Chem*, 1984, 32:1104~1106
- 3 Guein P M, E Stadler, H R Buser. Identification of host plant attractants for the carrot fly, *Psila rosae*. *J Chem Ecol*, 1983, 9:843~861
- 4 Heinrichs E A, H R Rapusas. Levels of resistant to the whitebacked plant hopper, *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae) in rice varieties with the same major genes. *Environ Entomol*, 1983, 12:1793~1797
- 5 Khan Z R, R C Saxena. Effect of steam distillate extract of a resistant rice variety on feeding behavior of *Nephotettix virescens* (Homoptera: Delphacidae). *J Econ Entomol*, 1985, 78:562~566
- 6 Khan Z R, R C Saxena. Behavioral and physiological responses of *Sogatella furcifera* to selected resistant and susceptible rice cultivars. *J Econ Entomol*, 1985, 78:1280~1286
- 7 Khan Z R, R C Saxena. Effect of steam distillate extracts of resistant and susceptible rice cultivars on behavior of *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae). *J Econ Entomol*, 1986, 79:928~935
- 8 Liu G, R M Wilkins, R C Saxena. Orientation of whitebacked planthopper (WBPH) to scentless rice plants. *IRRN*, 1988, 13:39~40
- 9 Liu G. Mechanisms of varietal resistance in rice to *Sogatella furcifera* (Horvath) and inhibition of its feeding by carbofuran. Ph.D thesis, University of Newcastle upon Tyne, U.K., 1990
- 10 Ramachandran R, Z R Khan, P Caballero. Olfactory sensitivity of two sympatric species of rice leaf folders (Lepidoptera: Pyralidae) to plant volatiles. *J Chem Ecol*, 1990, 16:2647~2666
- 11 Saxena R C, S H Okech. Role of plant volatiles in resistance of selected rice varieties to the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stal) (Homoptera: Delphacidae). *J Chem Ecol*, 1985, 11:1601~1616
- 12 Visser J H, S Van Straten, H Maarse. Isolation and identification of volatiles in the foliage of potato, *Solanum tuberosum*, a host plant of the Colorado beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *J Chem Ecol*, 1979, 5:13~25
- 13 Ye Z H. Resistance to the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Horvath) in elite lines of *Oryza sativa* and *O. officinalis* crosses. M. Sc thesis, University of the Philippines at Los Banos, Laguna, Philippines, 1988