

# 中国梨木虱冬型成虫性信息素成分的提取和 GC-MS 鉴定

万津瑜 周玲 张青文 徐环李\*

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193)

**摘要** 通过鉴定中国梨木虱性信息素的成分,为进一步开发其性引诱剂提供基础资料。本试验利用正己烷分别提取梨木虱冬型雌、雄成虫体表浸提物,用 Y 型嗅觉仪测试了浸提物对中国梨木虱冬型雌和雄成虫行为反应的影响,并运用气相色谱-质谱联用仪对浸提物进行了分析和鉴定。雌虫浸提物对雄性梨木虱有较强的引诱作用,雄虫浸提物对雄木虱,雌、雄浸提物对雌木虱均无引诱作用,说明雌虫浸提物中含有雌木虱释放的性信息素。气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)分析结果表明,雌虫浸提物中 13-甲基二十七烷和 2-甲基二十七烷的含量多于雄虫浸提物中的含量。在保留时间为 23.136 min 时,雌虫浸提物出现色谱峰,而雄虫浸提物没有出峰。这 3 种化合物可能是中国梨木虱冬型雌成虫的性信息素成分。

**关键词** 中国梨木虱; 性信息素; Y 型嗅觉仪; 行为反应; 气相色谱-质谱联用仪

中图分类号 S 433.3

文章编号 1007-4333(2013)02-0079-07

文献标志码 A

## Extraction and GC-MS identification of sex pheromone components from winterform adults *Cacopsylla chinensis* (Yang et Li)

WAN Jin-yu, ZHOU Ling, ZHANG Qing-wen, XU Huan-li\*

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract** The sex pheromone components from *C. chinensis* were identified to provide a basis for further development of sex attractant. In this paper, cuticular extracts were prepared by using hexane as solvent from winterform *C. chinensis* male and female adults, respectively. The effects of the extracts on the selective response of winterform males and females were tested in detail with a Y-tube olfactometer. The components of the extracts were analyzed and identified by GC-MS. The results showed that female extracts were attractive to male adults of *C. chinensis* ( $df = 1, P = 0.016$ ), but male extracts were not. The male and female extracts didn't attract females as well, which indicated that female extracts could contain volatile sex pheromone released by female adults. Based on GC-MS data of authentic standards, the contents of 13-methylheptacosane and 2-methylheptacosane in female extracts were more than that in male extracts. There was a peak of the female extracts at the retention time of 23.136 min, but none peak on that of male. The current results suggested that these compounds might be the sex pheromone active components from the winterform female adults of *C. chinensis*.

**Key words** *Cacopsylla chinensis*; sex pheromone; Y-tube olfactometer; behavior response; GC-MS

中国梨木虱 *Cacopsylla chinensis* (Yang et Li) 属半翅目木虱科(Hemiptera:Psyllidae)昆虫,是我国梨产区主要害虫之一。其分布广,为害严重。它们吸取梨树营养,传播病菌,并且分泌蜜露,导致

煤烟病发生。中国梨木虱有季节性二型现象,冬型成虫体型较大、暗褐色,夏型成虫体型较小、淡黄色。北京地区越冬成虫在 2 月底开始出蛰,发生盛期在 3 月中旬。第一代成虫(夏型成虫)发生盛期在

收稿日期:2012-08-28

基金项目:国家现代农业(梨)产业技术体系资助项目(CARS-29-08)

第一作者:万津瑜,硕士研究生,E-mail:wanjinyu1989@163.com

通讯作者:徐环李,副教授,博士,主要从事害虫综合防治的研究,E-mail:hanabati@cau.edu.cn

5月中旬。梨木虱世代重叠,在北京地区一年发生4代<sup>[1]</sup>。传统的化学防治易导致中国梨木虱产生抗药性。性信息素是昆虫交配时两性相互寻找过程中的重要纽带和必备因素,可以保证昆虫在种群内雌雄个体之间性的联系及物种有条不紊的繁衍。昆虫性信息素具有专一、高效、持久、无毒、无污染、不伤天敌和有益生物等优点,受到学者们的高度重视,已成为害虫防治中的重要措施之一。已有研究发现半翅目中昆虫,如蚜虫、介壳虫以及粉虱含有性信息素<sup>[2-4]</sup>。

有不少关于寄主植物和梨木虱之间相互作用的研究,直到2004年,Soroker等研究发现梨木虱 *Cacopsylla biden* 雌成虫释放出有挥发性的性引诱物,引诱雄虫前来交配,这是首次出现关于木虱科昆虫用挥发物信号来引诱同类的报道<sup>[5]</sup>,随后又发现梨木虱 *Cacopsylla pyricola* 冬型和夏型雌虫的挥发物对其雄虫有引诱作用<sup>[6-8]</sup>。2009年,Guédot等第一次鉴定出梨木虱 *C. pyricola* 冬型成虫的性信息素为13-甲基二十七烷<sup>[9]</sup>,现已经合成出13-甲基二十七烷对映异构体<sup>[10]</sup>。

目前关于中国梨木虱的研究主要集中在形态特征、生物学特性、发生规律、危害情况以及防治技术等方面<sup>[11]</sup>,有关中国梨木虱性信息素的鉴定还未见报道。本研究旨在分析和测定中国梨木虱性信息素的成分,为进一步开发中国梨木虱性引诱剂提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 虫源

于2011年3月和2012年3月,用吸尘器采自北京市农林科学院林业果树研究所梨园(39°9'(N),116°3'(E))刚出蛰的冬型中国梨木虱成虫。将采集的成虫带回实验室后,按雌、雄分开,选择发育成熟的梨木虱放于25℃、光周期(L16:D8)的光照培养箱中备用。

### 1.2 嗅觉仪的制备

利用自制的“Y”型嗅觉仪作为行为测定仪器。此嗅觉仪由玻璃管制成,基管长15cm,两臂长10cm,内径2.5cm,两臂夹角为90°。嗅觉仪两臂依次连接一味源瓶、蒸馏水加湿瓶、活性炭干燥塔以及

QC-1B大气采样仪,各部件之间用硅胶管连接。空气经过活性炭过滤器和蒸馏水加湿瓶,以净化和润湿空气。调节大气采样仪的气流流量为50 mL/min。在行为测定前,提前15 min让空气以50 mL/min的流量通过整个系统。

### 1.3 浸提物的提取

观察发现中国梨木虱在下午13:00—15:00 h之间很活跃,处于兴奋状态,于是选择这个时间段进行梨木虱的提取。将50只同一性别的中国梨木虱放入5 mL尖底玻璃管中,注入500 μL正己烷(色谱纯),浸泡30 min,期间用手不断摇动玻璃管。随后将上清液转移到2 mL的样品瓶中,即成浸提物。将浸提物用TTL-DC型多功能氮吹仪浓缩为50 μL,密封后贮存在冰箱(-20℃)内备用。

### 1.4 行为测定

行为测定时,将10 μL待测浸提物作为处理滴加在1 cm×4 cm滤纸条上,溶剂挥发后放入味源瓶作为味源,将10 μL正己烷溶液滴加在相同大小的滤纸条上,待挥发后放入另一味源瓶作为对照。当以梨木虱雌成虫作为处理时,将10只雌木虱放入一味源瓶作为味源,另一空白味源瓶作为对照。将待测梨木虱单只引入“Y”型嗅觉仪的管柄,观察并记录木虱对测试臂和对照臂气味源的选择情况,主要是进入两管的梨木虱数量和每只木虱到达目的管臂所需的时间。每只木虱观察5 min并且只受试一次。选择性的标准如下:如果梨木虱放后在某一侧臂的前臂(即侧臂与气味源连接处的1/2部分)活动时间持续超过60 s,记为有反应。如果一只梨木虱释放后,在整个5 min观察时间内,在任一侧臂的前臂均未持续活动超过60 s,则记为无反应,结束对该梨木虱的观察。每个重复测试10只同性别的木虱。每测定5只木虱后,将嗅觉仪的臂水平旋转180°,调换“Y”型管两臂位置,再测定另外5只,以消除管臂位置对木虱行为可能产生的影响。测完一组重复后,用蘸乙醇的脱脂棉擦拭嗅觉仪内壁,蒸馏水冲洗,用电吹风吹干,更换滤纸后再进行下一组测试。整个试验安排在13:00—15:00 h,室温下进行,在“Y”型管正上方放一白炽灯作为光源<sup>[12]</sup>。

#### 1.4.1 空白试验

在进行测定之前先进行预试验,以测试“Y”型

嗅觉仪的两臂是否均衡。预试验中,嗅觉仪两臂均不连接气味源,只有干净空气通过。雌雄梨木虱各 5 个重复。

#### 1.4.2 雌雄浸提物对雌雄梨木虱选择行为的影响

试验设置的气味源组合有: 1) 雌虫浸提物与正己烷溶液; 2) 雄虫浸提物与正己烷溶液, 剂量均为 10  $\mu\text{L}$ 。雌和雄梨木虱各 5 个重复。

#### 1.4.3 不同气味源对雄木虱选择行为的影响

以雄梨木虱为测试虫源,测定其对 10  $\mu\text{L}$  雌虫浸提物和以雌梨木虱为气味源的行为反应,每个测定包括 10 个重复。

### 1.5 中国梨木虱成虫浸提物的 GC-MS 分析

梨木虱雌雄成虫浸提物成分在 Agilent 6890N-5973N GC-MS 上进行分析,色谱柱为 HP-5MS 毛细管柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ ,Agilent 公司),每次 2  $\mu\text{L}$  手动无分流进样,进样口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ 。升温程序:80  $^{\circ}\text{C}$  下保持 1 min,以 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速度升温至 280  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 20 min。载气为氦气,流速 1 mL/min。

电离方式 EI,电离能量为 70 eV。离子源发生器温度为 230  $^{\circ}\text{C}$ ,质量扫描范围为 30~600 amu。通过联机的 Nist05 数据库检索,并结合标准化化合物的总离子流图比对,确定浸提物中的成分。

### 1.6 数据统计与分析

采用 SPSS17.0 统计分析软件来分析中国梨木虱雌、雄成虫对浸提物和雄木虱对不同气味源的选择结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 雌雄浸提物对冬型梨木虱成虫选择反应的影响

结果如表 1 所示,空白试验中,嗅觉仪两臂对梨木虱雌雄成虫选择反应的差异均不显著( $df=1$ ,  $P>0.05$ )。在雌虫浸提物和正己烷溶液处理中,选择两者的雌木虱数一样多,之间无差异。而选择雌虫浸提物的雄木虱显著多于选择正己烷溶液的雄木虱( $df=1$ ,  $P=0.016$ )。在雄虫浸提物和正己烷溶液处理中,差异均未达到显著水平( $df=1$ ,  $P>0.05$ )。

表 1 雌雄浸提物对中国梨木虱冬型成虫选择行为的影响

Table 1 Effects of cuticular extracts from females and males on selection responses of winterform *Cacopsylla chinensis*

性别 Sex	供试虫数 Test No.	反应虫数 Choice No.	雌虫浸提物 Extracts from females	雄虫浸提物 Extracts from males	正己烷 Hexane	空白 Clear air	空白 Clear air
♀	50	46				4.4 $\pm$ 0.4 a	4.8 $\pm$ 0.5 a
♂	50	47				4.6 $\pm$ 0.5 a	4.8 $\pm$ 0.5 a
♀	50	45	4.4 $\pm$ 0.4 a		4.6 $\pm$ 0.4 a		
♂	50	45	5.6 $\pm$ 0.5 a		3.4 $\pm$ 0.5 b		
♀	50	45		4.2 $\pm$ 0.5 a	4.8 $\pm$ 0.6 a		
♂	50	47		4.4 $\pm$ 0.5 a	4.2 $\pm$ 0.4 a		

注: \* 表中数据为平均值 $\pm$ 标准误,同行数据后的不同字母表示差异显著( $P\leq 0.05$ )。

Note: \* Data in the table indicate means $\pm$ SE, and those within a row followed by different letters show significant difference at  $P\leq 0.05$ .

### 2.2 不同味源对冬型雄梨木虱选择反应的影响

结果显示,在 10  $\mu\text{L}$  雌虫浸提物与正己烷溶液处理中,雄梨木虱选择浸提物的虫数显著多于选择正己烷溶液的虫数( $df=1$ ,  $P<0.05$ ,图 1)。雄梨木虱对雌梨木虱和干净空气的选择结果显示,选择雌梨木虱的雄虫数量多于选择干净空气的虫数,差异

显著(图 2)。

### 2.3 中国梨木虱冬型成虫浸提物的 GC-MS 分析

通过对梨木虱雌雄成虫浸提物的 GC-MS 分析得出,浸提物中共有 44 种化合物,通过与 Nist05 数据库检索,鉴定出了 36 种化合物,主要是长链烃类和醇类等化合物,还有 8 种化合物未能检测出(图 3,表 2)。

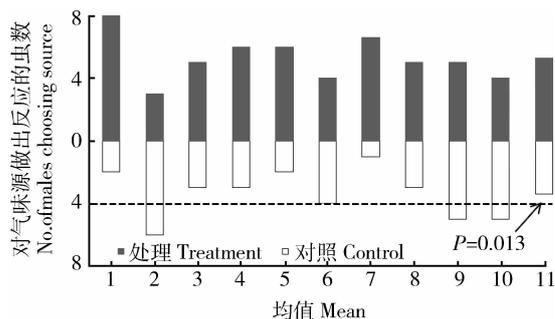


图1 10  $\mu\text{L}$  冬型雌虫浸提物和 10  $\mu\text{L}$  正己烷溶液对冬型雄梨木虱选择反应的影响

Fig. 1 Effects of 10 microliter cuticular extracts from winterform females and 10 microliter hexane on selection responses of male winterform *Cacopsylla chinensis*

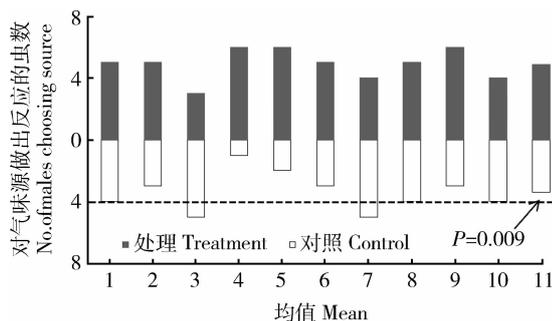


图2 10只冬型雌梨木虱和干净空气对冬型雄梨木虱选择反应的影响

Fig. 2 Effects of volatiles from 10 winterform females and clear air on selection responses of male winterform *Cacopsylla chinensis*

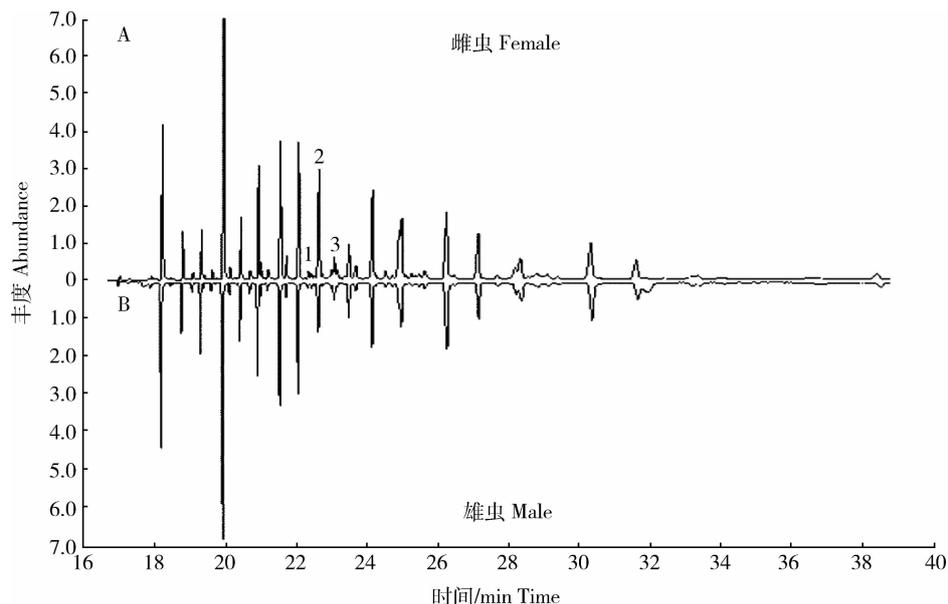


图3 中国梨木虱冬型雌虫(A)和雄虫(B)浸提物成分的总离子流图

Fig. 3 Total ion chromatogram of extracts from winterform *Cacopsylla chinensis* females(A) and males(B)

中国梨木虱雌、雄浸提物中化合物含量较多的是顺-双环二十烷(18.199 min)、顺-13-二十二碳烯醇(19.916 min)、2-甲基二十五烷(20.906 min)、二十四醛(21.564 min)、正二十七烷(22.036 min)、2-甲基二十七烷(22.618 min)、正二十九烷(24.126 min)、2-甲基二十九烷(24.929 min)、二十八烷醇(26.199 min)、正三十一烷(27.107 min)和 1,30-三

十碳二醇(30.309 min)。雌、雄成虫化合物成分和含量大致相同,除了 13-甲基二十七烷(图3和图4的编号1)和 2-甲基二十七烷(图3和图4的编号2)在雌虫浸提物中的含量显著多于雄虫浸提物中的含量。另外,保留时间为 23.136 min(图3和图4的编号3)时,雌虫浸提物有出现色谱峰,而雄虫浸提物没有。

表 2 中国梨木虱冬型成虫浸提物的 GC-MS 鉴定结果

Table 2 Identification of the cuticular extracts from male and female winterform *Cacopsylla chinensis* by GC-MS

保留时间/min Retention time	化合物 Chemicals	分子式 Molecular formula
17.000	正二十一烷 Heneicosane	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>
17.902	正二十二烷 Docosane	C <sub>22</sub> H <sub>46</sub>
18.199	顺-双环二十烷 Bicyclo[10.8.0]eicosane, cis-	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub>
18.770	正二十三烷 Tricosane	C <sub>23</sub> H <sub>48</sub>
19.072	Unidentified	
19.299	2-甲基二十三烷 Tricosane, 2-methyl-	C <sub>24</sub> H <sub>50</sub>
19.387	3-甲基二十三烷 3-Methyltricosane	C <sub>24</sub> H <sub>50</sub>
19.608	正二十四烷 Tetracosane	C <sub>24</sub> H <sub>50</sub>
19.916	顺-13-二十二碳烯醇 13-Docosen-1-ol, (Z)-	C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O
20.120	Unidentified	
20.417	正二十五烷 Pentacosane	C <sub>25</sub> H <sub>52</sub>
20.691	Unidentified	
20.906	2-甲基二十五烷 2-Methylpentacosane	C <sub>26</sub> H <sub>54</sub>
20.982	3-乙基二十四烷 Tetracosane, 3-ethyl-	C <sub>26</sub> H <sub>54</sub>
21.186	正二十六烷 Hexacosane	C <sub>26</sub> H <sub>54</sub>
21.564	二十四醛 Tetracosanal	C <sub>24</sub> H <sub>48</sub> O
21.698	2-甲基二十六烷 2-Methylhexacosane	C <sub>27</sub> H <sub>56</sub>
22.036	正二十七烷 Heptacosane	C <sub>27</sub> H <sub>56</sub>
22.321	13-甲基二十七烷 13-Methylheptacosane	C <sub>28</sub> H <sub>58</sub>
22.618	2-甲基二十七烷 2-Methylheptacosane	C <sub>28</sub> H <sub>58</sub>
22.979	正二十八烷 Octacosane	C <sub>28</sub> H <sub>58</sub>
23.066	Unidentified	
23.136	Unidentified	
23.48	1,22-二十二碳二醇 1,22-Docosanediol	C <sub>22</sub> H <sub>46</sub> O
23.678	4,8-二甲基二十七烷 4,8- Dimethylheptacosane	C <sub>29</sub> H <sub>60</sub>
24.126	正二十九烷 Nonacosane	C <sub>29</sub> H <sub>60</sub>
24.504	11-甲基二十九烷 11-Methylnonacosane 13-甲基二十九烷 13-Methylnonacosane	C <sub>28</sub> H <sub>58</sub>
24.697	Unidentified	
24.929	2-甲基二十九烷 2-Methylnonacosane	C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>
25.459	正三十烷 Triacontane	C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>
25.605	Unidentified	
26.199	二十八烷醇 Octacosanol	C <sub>28</sub> H <sub>58</sub> O
27.107	正三十一烷 Hentriacontane	C <sub>31</sub> H <sub>64</sub>
27.648	11-甲基三十一烷 11-Methylhentriacontane 13-甲基三十一烷 13-Methylhentriacontane	C <sub>32</sub> H <sub>66</sub>
28.155	11,15-二甲基三十一烷 11,15-Dimethylhentriacontane	C <sub>33</sub> H <sub>68</sub>
28.295	Unidentified	
29.087	正三十二烷 Dotriacontane	C <sub>32</sub> H <sub>66</sub>
30.309	1,30-Triacontanediol 1,30-三十碳二醇	C <sub>30</sub> H <sub>62</sub> O <sub>2</sub>
31.555	正三十三烷 Tritriacontane	C <sub>33</sub> H <sub>68</sub>
33.121	13,17-二甲基三十一烷 13,17-Dimethylhentriacontane	C <sub>33</sub> H <sub>68</sub>
33.319	正三十四烷 Tetratriacontane	C <sub>34</sub> H <sub>70</sub>
38.373	正三十五烷 Pentatriacontane	C <sub>35</sub> H <sub>72</sub>

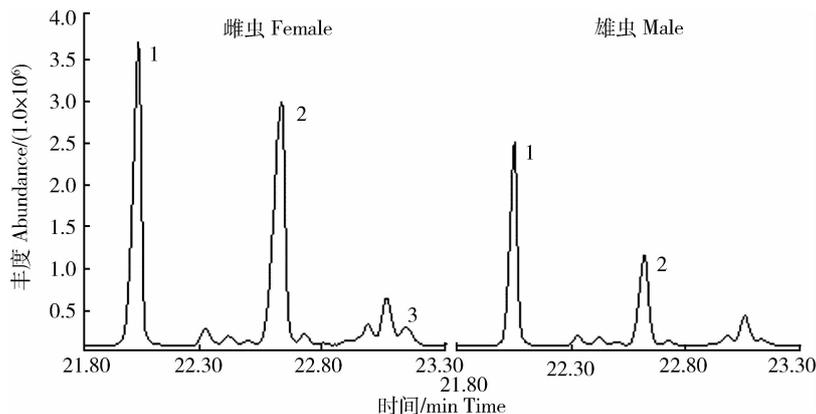


图4 中国梨木虱冬型雌虫(A)和雄虫(B)浸提物成分的部分离子流图

Fig. 4 Part of the ion chromatogram of extracts from winterform *Cacopsylla chinensis* females and males

### 3 结论与讨论

与梨木虱 *C. pyricola* 冬型成虫一样<sup>[13]</sup>, 中国梨木虱冬型雄成虫对雌成虫浸提物行为反应显著, 而雌虫浸提物对雌木虱的行为反应无影响, 这反映出雌雄梨木虱对同一浸提物的反应有差别。有研究表明昆虫不同性别的个体在寻找寄主和繁殖后代等行为中所起的作用不同, 这反映了雌和雄成虫触角感受器可能存在特殊的与性别有关的差异, 或存在嗅觉生理方面的定性差异<sup>[5]</sup>。雄木虱选择雌虫浸提物气味源的虫数显著多于选择对照正己烷的虫数, 说明雌虫浸提物对雄木虱有较强的引诱作用。而且, 雌虫浸提物和雌木虱挥发物对雄木虱行为反应的影响差异不显著, 暗示该浸提物中含有雌木虱释放的能引诱雄木虱的性信息素。

中国梨木虱雄虫对雌虫浸提物和正己烷的选择差异不显著, 这说明雄虫浸提物对雄木虱的选择行为没有影响。而梨木虱 *C. pyricola* 雄成虫之间有排斥作用<sup>[13]</sup>, 其他很多昆虫的雄虫也会产生气体来影响同类的行为<sup>[14-15]</sup>, 有的雄虫甚至还能挥发催欲素<sup>[16]</sup>。造成这种差异的原因可能是, 雄虫浸提物中含有的挥发物含量少, 10  $\mu$ L 剂量不足以对同类的行为造成影响。也不排除中国梨木虱 *C. chinensis* 和梨木虱 *C. pyricola* 存在差异的可能性, 中国梨木虱雄虫对彼此的行为确实无影响, 这种现象在有些昆虫中出现过<sup>[17]</sup>。当然, 具体原因还有待分析。

中国梨木虱冬型雌雄成虫浸提物中共有 44 种化合物, 鉴定出 36 种化合物。梨木虱 *C. pyricola* 冬型成虫浸提物中共含有 44 种化合物, 鉴定出 38 种化合物。2 种梨木虱浸提物含有相同化合物 27

种, 梨木虱 *C. pyricola* 特有 11 种化合物, 中国梨木虱 *C. chinensis* 特有 9 种化合物。而且中国梨木虱浸提物中含量多的化合物, 如 2-甲基二十五烷、正二十七烷、2-甲基二十七烷、正二十九烷、2-甲基二十九烷、二十八烷醇和三十一烷在梨木虱 *C. pyricola* 浸提物中含量也相对较多<sup>[9]</sup>, 这说明梨木虱 *C. pyricola* 和中国梨木虱的信息化合物有相似成分, 同时两者之间也存在种间差异性。同一科不同种的昆虫可以产生一种性信息素, 也可以产生不同的性信息素<sup>[18]</sup>。如半翅目盲蝽科植盲蝽属昆虫 *Phytocoris relativus* 和 *Phytocoris californicus* 含有同一种性信息素乙酸己酯, 而原盲蝽 *Lygocoris pabulinus* 的性信息素成分为碳烯烷。

比较图 3 和图 4, 保留时间为 23.136 min 时雌虫浸提物有出峰而雄虫浸提物没有峰, 可知这种化合物为雌虫浸提物所特有。除了这种化合物外, 其余 43 种化合物在雌雄浸提物中都有存在。雌雄浸提物中大多数化合物的含量相差不大, 但雌虫浸提物中的 13-甲基二十七烷和 2-甲基二十七烷显著多于雄虫浸提物中的含量。由于雌虫浸提物中含有对雄木虱具有引诱作用的性信息素, 初步认定 13-甲基二十七烷、2-甲基二十七烷和保留时间为 23.136 min 的化合物是雌木虱性信息素的成分。Guédot 等研究发现 13-甲基二十七烷是梨木虱 *C. pyricola* 冬型成虫的性信息素成分<sup>[9]</sup>, 这加大了 13-甲基二十七烷是中国梨木虱性信息素成分的可能性。

本研究只进行了室内的行为测定和梨木虱浸提物的 GC-MS 鉴定, 通过比较雌雄成虫浸提物的质谱总离子流图, 得出雌雄成虫浸提物成分和含量的不同, 从而初步认定了梨木虱性信息素成分。这项

工作还需要进一步深入,要最终确定其性信息素成分,还要用气相色谱-触角电位联用仪(GC-EAD)检测梨木虱对这 3 种化合物的触角反应情况,再人工合成这几种化合物并测试其对木虱的行为反应影响,最后进行田间诱捕试验,为梨木虱性信息素的田间应用提供科学依据。由于本试验采用溶剂浸提法来提取的梨木虱性信息素,这是一种传统的信息素提取方法,受杂质干扰较大。利用固相微萃取(SPME)与 GC-MS 和 GC-EAD 分析方法联用研究昆虫的信息素成分具有采集的样品更具代表性、无溶剂干扰、样品量能满足色谱分析需要、操作方便和操作简单时间短等方面的优点<sup>[19-20]</sup>。所以,当虫源充足时,有必要进行上述实验,以对梨木虱浸提物有深入的研究,确定出中国梨木虱性信息素的成分,这对于利用性信息素来进行梨木虱的综合防治具有重要意义。

致谢 感谢中国农业大学理学院刘亚佳老师,中国科学院动物所王睿老师和北京市林果所刘军老师对本试验的悉心指导!

### 参 考 文 献

- [1] 潘成杰,杜相革. 有机梨园中国梨木虱发生规律与综合防治技术的研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(10): 303-305
- [2] Millar J G, Daane K M, Mcelfresh J S, et al. Development and optimization of methods for using sex pheromone for monitoring the mealybug *Planococcus ficus* (Homoptera: Pseudococcidae) in California vineyards[J]. J Econ Entomol, 2002, 95(4): 706-714
- [3] Campbell C A M, Cook F J, Pickett J A, et al. Responses of the aphids *Phorodon humuli* and *Rhopalosiphum padi* to sex pheromone stereochemistry in the field[J]. J Chem Ecol, 2003, 29(10): 2225-2234
- [4] Sugie H, Teshiba M, Narai Y, et al. Identification of a sex pheromone component of the Japanese mealybug, *Planococcus kraunhiae* (Kuwana) [J]. Appl Entomol Zool, 2008, 43(3): 369-375
- [5] Soroker V, Talebaev S, Harari A R, et al. The role of chemical cues in host and mate location in the pear psylla *Cacopsylla bidens* (Homoptera: Psyllidae)[J]. J Insect Behav, 2004, 17(5): 613-626
- [6] Horton D R, Landolt P J. Attraction of male pear psylla, *Cacopsylla pyricola*, to female-infested pear shoots [J]. Entomol Exp Appl, 2007, 23(2): 177-183
- [7] Horton D R, Guédot C, Landolt P J. Diapause status of females affects attraction of male pear psylla, *Cacopsylla pyricola* to volatiles from female-infested pear shoots [J]. Entomol Exp Appl, 2007, 23(2): 185-192
- [8] Horton D R, Guédot C, Landolt P J. Attraction of male summerform pear psylla to volatiles from female pear psylla: Effects of female age, mating status, and presence of host plant [J]. Can Entomol, 2008, 40(2): 184-191
- [9] Guédot C, Millar J G, Horton D R, et al. Identification of a sex attractant pheromone for male winterform pear psylla, *Cacopsylla pyricola* [J]. J Chem Ecol, 2009, 35(12): 1437-1447
- [10] Mori K. Pheromone synthesis. Part 247: New synthesis of the enantiomers of 13-methylheptacosane, the female sex pheromone of pear psylla, *Cacopsylla pyricola* [J]. Tetrahedron-Asymmetr, 2011, 22(9): 1006-1010
- [11] 张翠瞳,徐国良,李大乱. 梨树主要害虫: 梨木虱的研究综述 [J]. 华北农学报, 2003, 18(F09): 127-130
- [12] 吕建华,刘树生. 欧洲山芥植株挥发物对小菜蛾雌成虫选择行为的影响[J]. 植物保护学报, 2007, 34(4): 415-419
- [13] Guédot C, Horton D R, Landolt P J. Attraction of male winterform pear psylla to female-produced volatiles and to female extracts and evidence of male-male repellency [J]. Entomol Exp Appl, 2009, 130(2): 191-197
- [14] Hillier N K, Vickers N J. The role of heliothine hairpencil compounds in female *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) behavior and mate acceptance [J]. Chem Senses, 2004, 29(6): 499-511
- [15] Kirk W D J, Hamilton J G C. Evidence for a male-produced sex pheromone in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* [J]. J Chem Ecol, 2004, 30(1): 167-174
- [16] Bryning G P, Chambers J, Wakefield M E. Identification of a sex pheromone from male yellow mealworm beetles, *Tenebrio molitor* [J]. J Chem Ecol, 2005, 31(11): 2721-2730
- [17] Wenninger E J, Stelinski L L, Hall D G. Behavioral evidence for a female-produced sex attractant in *Diaphorina citri* [J]. Entomol Exp Appl, 2008, 128(3): 450-459
- [18] 周琳,马志卿,冯岗,等. 天牛性信息素、引诱植物和植物性引诱剂的研究和应用[J]. 昆虫知识, 2006, 43(4): 433-438
- [19] 孔祥波,赵莉茜,张真,等. 松毛虫性信息素的固相微萃取及质谱和触角电位分析[J]. 昆虫学报, 2010, 53(8): 857-863
- [20] 忙定泽,罗庆怀,舒敏,等. 长足大竹象成虫体表信息化学物质的提取和鉴定[J]. 昆虫学报, 2012, 55(3): 291-302

责任编辑: 王燕华