

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.05.19

# 朝鲜毛球蚧各龄期虫体的挥发物成分分析

李 伟, 张艳峰\*, 谢映平, 牛秀萍, 薛皎亮

(山西大学生命科学学院, 太原 030006)

**摘要:** 为明确朝鲜毛球蚧 *Didesmococcus koreanus* Borchsenius 自身挥发物中所包含的信息素组分, 采用顶空固相微萃取和气质联用 (HS-SPME-GC/MS) 的方法对该蚧虫各龄期虫体的挥发性气味成分进行研究。分析得出 100  $\mu\text{m}$  PDMS 萃取纤维对虫体的挥发性成分吸附性能较好, 再以其吸附 2 龄若虫、3 龄若虫、雌成虫以及虫卵的挥发性成分, 并比较了不同龄期、不同虫态挥发性成分组成的异同和数量差异。结果表明, 朝鲜毛球蚧的挥发性成分主要有烷烃类、醇类、酮类、酯类、含苯环化合物等 29 种成分。随着龄期的增加, 虫体挥发物的种类由 2 龄若虫的 22 种, 3 龄若虫的 15 种, 逐渐减少到雌成虫的 10 种, 且不同发育阶段的挥发性组分有明显差异。在若虫期 1-辛烯-3-醇的相对含量都是最大的, 分别占 25.28% 和 22.51%; 发育到雌成虫阶段, 2-十一酮增加到 21.85% 为相对含量最大的组分; 而虫卵中邻二甲苯 (48.71%) 相对含量最大。通过分析挥发物的变化规律, 结合其他研究结果, 初步推测 1-辛烯-3-醇是朝鲜毛球蚧的一种重要的信息素成分, 2-壬酮、2-十一酮很有可能是朝鲜毛球蚧的性信息素, 通过此次研究为朝鲜毛球蚧的天敌引诱剂和性引诱剂的制备提供科学依据。

**关键词:** 朝鲜毛球蚧; 固相微萃取; 气质联用; 信息素

中图分类号: Q966; S433.39

文献标志码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 05-1003-08

## Analysis on volatile components of *Didesmococcus koreanus* Borchsenius in different instars

LI Wei, ZHANG Yan-Feng\*, XIE Ying-Ping, NIU Xiu-Ping, XUE Jiao-Liang (College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** In order to investigate the pheromone component contained in the body volatiles of *Didesmococcus koreanus* Borchsenius, these compounds in different instars were studied by headspace solid phase micro-extraction and gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC/MS). The fiber of 100  $\mu\text{m}$  PDMS had the best adsorption property of body volatile compounds by analysis. The similarities and differences of composition and quantity differences in different instars were compared after adsorbing of volatile compounds of 2<sup>nd</sup> instar nymph, 3<sup>rd</sup> instar nymph, female adult and egg by this fiber. The results showed that a total of 29 compounds were analyzed and identified, including alkanes, alcohols, ketones, esters, and benzene compounds and so on. The types of body volatile compounds gradually reduced with the growth (2<sup>nd</sup> instar nymph containing 22 kinds, 3<sup>rd</sup> instar nymph containing 15 kinds, female adult containing 10 kinds) and there was significant difference on volatile component of *D. koreanus* in different developmental stages. The relative content of 1-Octen-3-ol was the highest in the 2<sup>nd</sup> instar nymph (25.28%) and 3<sup>rd</sup> instar nymph (22.51%); And 2-Undecanone reached 21.85% which was the highest one in the adult stage; While the o-Xylene was the highest that accounted for 48.71% of all eggs volatiles.

基金项目: 国家自然科学基金-青年科学基金项目 (31200495); 山西省青年科技基金 (2011021029-2)

作者简介: 李伟, 男, 1991 年生, 山西寿阳人, 在读研究生, 研究方向为化学生态学与病虫害防治, E-mail: wei384495395@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zyf@sxu.edu.cn

收稿日期 Received: 2015-11-03; 接受日期 Accepted: 2015-11-28

1-Octen-3-ol was preliminarily speculated to be an important pheromone component of *D. koreanus*, 2-Nonanone and 2-Undecanone were likely to be the sex hormone of *D. koreanus* through the analysis of the change rule of volatile matter and the comparison with other research results. The research provided scientific data for the preparation of attractants for natural enemies and sexual attractants of *D. koreanus*.

**Key words:** *Drosicha corpulenta* (Kuwana); solid-phase microextraction (SPME); GC/MS; Pheromone

朝鲜毛球蚧 *Didesmococcus koreanus* Borchsenius 属于蚧总科 Coccoidea 蚧科 Coccidae 坚蚧亚科 Eulecaniinae 毛球蚧属 *Didesmococcus*, 是我国北方果园的重要害虫, 主要危害杏、李、桃、樱桃等蔷薇科植物 (谢映平, 1998)。其形态学和生物学方面前人已有不少研究 (张之光和石毓亮, 1955; Borchsenius, 1960; 汤枋德, 1977; 汤枋德, 1991; 谢映平, 1998), 目前针对朝鲜毛球蚧的危害仍以化学防治为主。然而该蚧虫繁殖量大, 且成虫体被坚硬的外表皮以及蜡质分泌物 (汤枋德, 1991), 化学杀虫剂很难达到理想的防治效果, 反而污染环境, 大量杀伤天敌, 使其为害更加难以控制。因此, 利用化学信息吸引天敌对其进行生物防治, 或者利用性信息素迷向法对朝鲜毛球蚧的交配进行干扰, 可为实现该蚧虫的可持续控制提供新的思路。

研究表明在天敌寻找寄主、猎物的过程中, 挥发性的信息化学物质如害虫挥发性气味和受害植株释放的互利素往往起着非常关键的作用 (Shiojin and Takabayashi, 2000; Rogers and Potter, 2002; Colazza *et al.*, 2004; Turlings and Wackers, 2004)。如 James (2003) 研究发现植物受虫害后释放的水杨酸甲酯可以有效引诱绿草蛉 *Chrysopa nigricornis*, 韩宝瑜 (2001) 发现茶蚜体表正己烷、乙醚漂洗物对其天敌中华草蛉 *Chrysopa sinica*、蚜茧蜂 *Aphidius* sp. 和七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 具有显著的引诱效应。许多研究证实, 虫害植株释放的互利素具有天敌昆虫跟踪滞后的特点, 且害虫取食之后易于转移。而植食性昆虫本身的信息物质作为利它素来招引天敌, 在其近距离搜索过程中起作用, 可靠性较大。尤其是朝鲜毛球蚧最重要的捕食性天敌—黑缘红瓢虫 *Chilocorus rubidus* Hope, 与杂食性瓢虫不同, 它们对朝鲜毛球蚧的捕食有很强的专一性, 因此在黑缘红瓢虫寻找朝鲜毛球蚧的过程中, 朝鲜毛球蚧自身的挥发性物质可能起到更为重要的利他素的功能, 吸引其进入为害林地。

昆虫的性信息素一般由雌成虫释放, 在一定

距离范围内, 吸引雄成虫完成交配。目前已经在许多蚧总科昆虫中鉴定出相应的性信息素成分, 如日本松干蚧 *Matsucoccus matsumurae* Kuwana (Hibbard *et al.*, 1991)、无花果臀纹粉蚧 *Planococcus ficus* (Zada *et al.*, 2003) 等, 然而对于朝鲜毛球蚧的研究只有谢映平和郑乐怡 (2002) 曾利用红外光谱和气相色谱对朝鲜毛球蚧低龄若虫、雄性 2 龄若虫和雌成虫蜡分泌物成分进行了分析, 推测其蜡分泌物的成分主要由长链烃、脂肪酸和脂肪醇以及某些含芳香环的化合物组成, 而相关的化学信息物质研究, 如性信息素、利它素等的成分与比例, 目前相关的研究还未见报道。

为此, 本文测定分析了朝鲜毛球蚧各龄期虫体的挥发性物质, 以期寻找其中可能存在的利它素或性信息素物质, 为利用化学生态学方法防治朝鲜毛球蚧提供理论基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 仪器与材料

GC/MS 气质联用仪 BRUKER320 (美国 Bruker Daltonic Inc. 公司) 由北京师范大学分析测试中心提供; 20 mL 顶空微萃取瓶 (美国 Agilent 公司); 固相微萃取装置和萃取纤维: 100  $\mu\text{m}$  PDMS (聚二甲基硅氧烷)、65  $\mu\text{m}$  PDMS/DVB (聚二甲基硅氧烷/聚二乙烯基苯) 和 75  $\mu\text{m}$  PDMS/CAR (Carboxen/聚二甲基硅氧烷) (美国 Supelco 公司)。

实验用朝鲜毛球蚧于 2015 年 3-6 月采自山西省太原市山西大学校园内桃树林 (112°34'48"E, 37°47'45"N, 海拔 781 m)。

### 1.2 样品制备

挑取个头大小相近的各龄期朝鲜毛球蚧, (朝鲜毛球蚧 2、3 龄若虫各 100 头置于一个顶空样品瓶中, 雌成虫每 60 头置于一个样品瓶中, 虫卵每 5 g 置于一个样品瓶中)。密封后置于室温下平衡 10 min, 之后迅速进行顶空固相微萃取。

### 1.3 顶空固相微萃取

为选择合适的萃取纤维, 本试验选用了 3 种

萃取纤维, 以 2 龄若虫作为测试对象, 在相同的吸附时间 (90 min)、萃取温度 (室温) 和解析条件下 (250℃, 5 min) 比较。选择效果较好的萃取纤维 (100 μm PDMS), 对朝鲜毛球蚧的 2、3 龄若虫, 雌成虫以及虫卵的挥发性成分进行顶空微萃取。实验步骤如下:

实验前设置气质联用仪进样口温度为 250℃, 将萃取纤维在质谱仪活化 20 min, 将活化好的固相微萃取装置的针头穿透顶空样品瓶瓶盖上的隔垫, 插入瓶内虫体上方, 然后小心的推出纤维, 同时用固定装置固定固相微萃取装置的手柄, 自萃取纤维推出后开始计时, 待吸附完毕后 (吸附 90 min), 立即在 GC/MS 进样口 250℃ 解析 5 min, 进行 GC/MS 分析。

#### 1.4 气相色谱—质谱联用分析条件

GC 条件: DB-5MS 毛细管柱 (0.25 mm × 0.25 μm × 30 m); 程序升温条件如下: 起始温度 40℃, 保持 5 min, 再以 10℃/min 上升至 260℃, 保持 13 min, 最大温度控制在 260℃, 共 40 min。进样口温度 250℃, 载气: He, 氦气流速 1.0 mL/min, 不分流方式。

MS 条件: 电子轰击离子源 (EI), 源温

210℃; 传输线温度 250℃; 电子能量为 70 eV, 采集范围  $m/z$  为 45.0 – 800.0, 采集方式 Scan。

#### 1.5 数据处理

样品中挥发性成分由计算机检索与 NIST08 标准质谱库匹配求得, 统计匹配度均大于 800 的挥发性成分, 挥发性成分定量分析采用峰面积归一化法。

## 2 结果与分析

### 2.1 固相微萃取纤维的选择

合适的萃取纤维对提取待测物质具有重要影响。本试验选用了 3 种萃取纤维: 100 μm PDMS、65 μm PDMS/DVB 和 75 μm PDMS/CAR 在相同的条件下对朝鲜毛球蚧 2 龄若虫虫体的挥发性成分进行测定, 测定结果及其比较见图 1 和表 1。实验结果显示萃取纤维 100 μm PDMS 在出峰数、所吸附的挥发性物质数目方面都明显高出其他两个固相微萃取纤维, 检出物质丰富, 能更多、更好地吸附虫体的挥发性物质, 且峰形较好, 因此本研究选用 100 μm PDMS 萃取纤维。

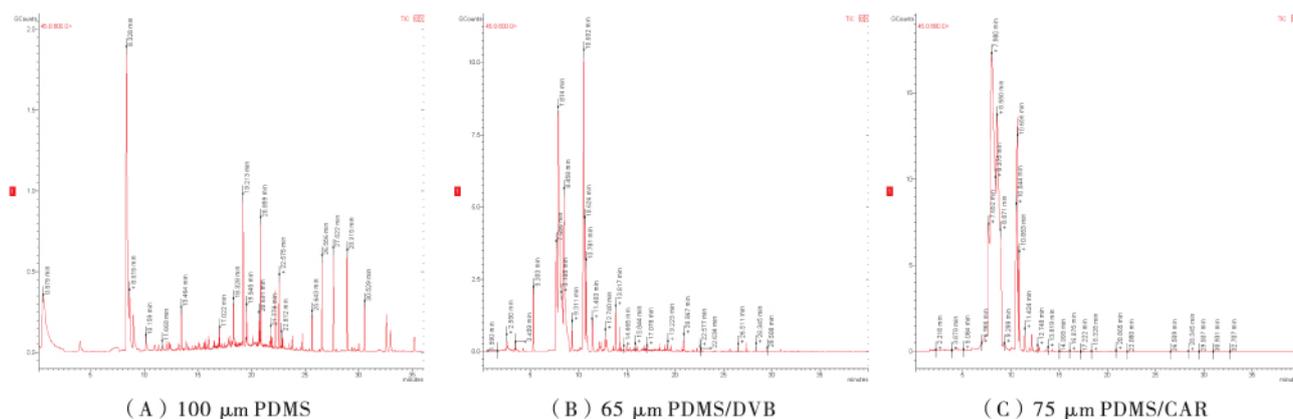


图 1 朝鲜毛球蚧 2 龄若虫挥发性物质的 GC/MS 总离子流图

Fig. 1 GC/MS total ion current chromatograms of volatile compounds of 2<sup>nd</sup> instar of nymph *Didesmococcus koreanus*

表 1 三种萃取纤维的 GC/MS 效果比较

Table 1 GC/MS comparison of three fibers

萃取纤维 SPME fiber	检出物质数 Number of compounds detected	出峰数 Number of peaks	峰形 Peak shape
100 μm PDMS	22	30	较好 Better
65 μm PDMS/DVB	13	17	差 Bad
75 μm PDMS/CAR	9	19	差 Bad

## 2.2 朝鲜毛球蚧各龄期挥发性物质的成分分析

采用 100  $\mu\text{m}$  PDMS 萃取纤维对朝鲜毛球蚧的 2 龄若虫、3 龄若虫、雌成虫和卵分别进行萃取,并用 GC-MS 分析,选择匹配度大于 800,且相对含量高于 1% 的挥发物,结果见表 2。朝鲜毛球蚧不同龄期的挥发性成分中,总共检出 29 种主要的挥发性成分,包括 11 种饱和烷烃、5 种醇类、4 种酮类、2 种含苯环化合物、1 种酚类和 6 种酯类。

总体来看,不同发育阶段虫体和虫卵的挥发性组分有明显差异(见表 2 和图 2),其中 2 龄若虫共检出 22 种化合物,包括 9 种烷烃(45.31%),4 种醇类(30.65%),2 种酮类(6.24%),2 种含苯环化合物(8.06%),1 种酚类(1.06%)和 4 种酯类(6.93%)(图 2)。相对含量最大的是 1-辛烯-3-醇,占 25.28%,其次是三十烷(18.79%)和三十一烷(15.38%)(表 2)。

3 龄若虫共检出 15 种化合物,包括 8 种烷烃(36.28%),2 种醇类(32%),2 种酮类(18.97%)和 3 种酯类(8.75%)(图 2)。同样是 1-辛烯-3-醇相对含量最大,占 22.51%,其次是

三十烷(16.64%)和 2-壬酮(14.89%)(表 2)。

雌成虫共检出 10 种化合物,包括 5 种烷烃(45.31%),2 种酮类(34.68%),1 种酚类(8.05%)和 2 种酯类(10.16%)(图 2)。和若虫不同的是,2-十一酮相对含量所占比例最大,达到 21.85%,其次是三十一烷(19.13%)、三十烷(15.65%)和 2-壬酮(12.83%)(表 2)。

虫卵共检出 13 种化合物,包括 4 种烷烃(7.14%),2 种醇类(8.73%),2 种酮类(2.1%),2 种含苯环化合物(76.86%)和 3 种酯类(3.06%)(图 2)。和虫体挥发物不同,邻二甲苯相对含量最大,占 48.71%,其次是乙苯(28.15%)(表 2)。

经比较发现 4 个龄期共有的成分是:十六烷、三十烷和三十一烷(表 2)。而二十烷、二十一烷、四十三烷、2-乙基己醇、1-壬醇、3-辛酮、3,4-二甲氧基苯乙酮、对甲基苯甲酸,2-乙基己基酯是二龄虫体挥发物的特有成分;4-甲基十四烷、十八烷、1-己烯-3-醇、丙烯酸二甲胺乙酯是三龄虫体挥发物的特有成分;成虫和虫卵未检测出单独具有的特异成分。

表 2 朝鲜毛球蚧在不同龄期时主要挥发性成分及相对含量(%)

Table 2 The main volatile components and relative content in different instars of *Didesmococcus koreanus*

化合物 Compound	2 龄若虫 2 <sup>nd</sup> instar	3 龄若虫 3 <sup>rd</sup> instar	成虫 Adult	卵 Egg
烷烃类 Alkane				
十四烷 Tetradecane	0.66	2.45	—	1.08
4-甲基十四烷 4-Methyltetradecane	—	1.97	—	—
十五烷 Pentadecane	2.18	1.74	0.40	—
十六烷 Hexadecane	2.49	2.37	8.85	1.21
十七烷 Heptadecane	2.12	1.81	1.28	—
十八烷 Octadecane	—	1.85	—	—
二十烷 Eicosane	1.15	—	—	—
二十一烷 Heneicosane	1.29	—	—	—
三十烷 Triacontane	18.79	16.64	15.65	2.56
三十一烷 Hentriacontane	15.38	7.45	19.13	2.29
四十三烷 Tritetracontane	1.25	—	—	—
醇类 Alcohol				
2-乙基己醇 1-Hexanol, 2-ethyl-	1.55	—	—	—
1-己烯-3-醇 1-Hexen-3-ol	—	9.49	—	—
3-辛醇 3-Octanol	2.33	—	—	0.28

续上表

化合物 Compound	2 龄若虫 2 <sup>nd</sup> instar	3 龄若虫 3 <sup>rd</sup> instar	成虫 Adult	卵 Egg
1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	25.28	22.51	-	8.45
1-壬醇 1-Nonanol	1.49	-	-	-
酮类 Ketone				
3-辛酮 3-Octanone	1.80	-	-	-
3,4-二甲氧基苯乙酮 Ethanone, 1-(3,4-dimethoxyphenyl)-	4.44	-	-	-
2-壬酮 2-Nonanone	-	14.89	12.83	0.05
2-十一酮 2-Undecanone	-	4.08	21.85	2.05
含苯环化合物 Benzene compounds				
邻二甲苯 o-Xylene	4.41	-	-	48.71
乙苯 Ethylbenzene	3.65	-	-	28.15
酚类 Phenol				
2,4-二叔丁基酚 Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	1.06	-	8.05	-
酯类 Esters				
癸酸乙酯 Decanoic acid, ethyl ester	0.31	2.28	-	0.18
亚硫酸, 环己基甲基己基酯 Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexyl ester	2.14	-	-	1.72
对甲基苯甲酸, 2-乙基己基酯 p-Toluic acid, 2-ethylhexyl ester	1.25	-	-	-
邻苯二甲酸, 双(2-甲基丙基)酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	3.23	-	5.63	-
丙烯酸二甲胺乙酯 Dimethylaminoethyl acrylate	-	3.17	-	-
月桂酸乙酯 Dodecanoic acid, ethyl ester	-	3.3	4.53	1.16

注 “-” 表示未检测到。Note “-” indicated undetected.

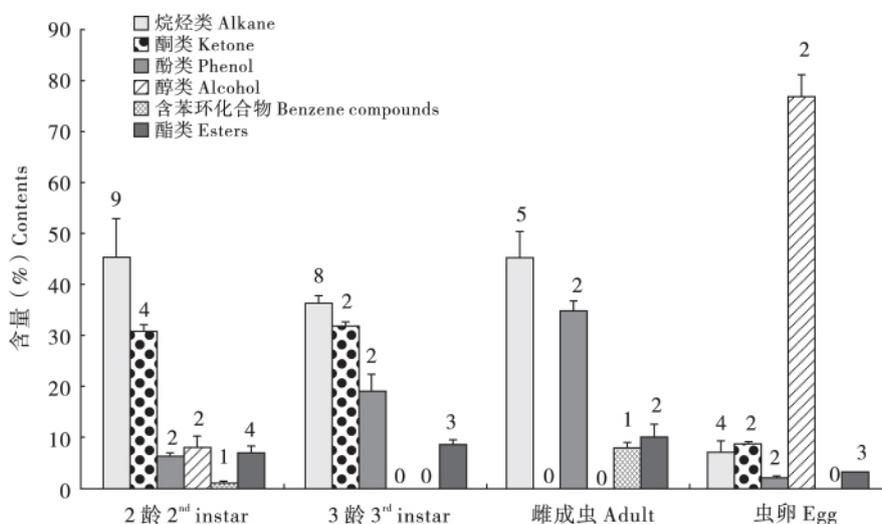


图 2 朝鲜毛球蚧各类挥发性成分相对含量随龄期的变化

Fig. 2 The change of relative content of all kinds of volatile components in different instars of *Didesmococcus koreanus*

注: 图中数据为平均数 ± 标准误, 柱形图上的数字是该类化合物的种类数。Note: Data are mean ± SD. The numbers on the bar chart are the numbers of species of this kind of compounds.

### 3 结论与讨论

目前对昆虫体表的化合物成分研究多采用的样品前处理方法是溶剂洗脱法 (Liepert and Detter, 1996; Birgit *et al.*, 2000), 这种方法步骤繁琐、费时、存在较多杂质且有效成分浓度很低, 经常达不到气相色谱质谱检测的最低浓度, 并且不能真实的反映虫体挥发性成分。本研究采用固相微萃取技术吸附朝鲜毛球蚧各龄期虫体气味成分, 具有操作简单、快速、高效、灵敏的特点 (Jia *et al.*, 1998), 而且由于采用顶空抽样的方式, 所测结果能更真实的反映虫体挥发性成分。利用气相色谱/质谱 (GC/MS) 分析所吸附挥发性物质。我们共发现了 29 种主要的挥发性成分, 包括 11 种饱和烷烃、5 种醇类、4 种酮类、2 种含苯环化合物、1 种酚类和 6 种酯类。以往谢映平等 (2002) 研究朝鲜毛球蚧蜡泌物的成分主要由长链烃、脂肪酸和脂肪醇以及某些含芳香环的化合物组成。本文测得的朝鲜毛球蚧挥发物组分中一部分与其蜡泌物成分类似, 很可能源自于蜡泌物的挥发性组分。

烷烃类化合物均为若虫及雌成虫挥发物中含量最高的物质, 占 36.28% - 45.31%, 数量也最多, 分别有 9、8 和 5 种, 而虫卵挥发物中有 4 种仅占 7.14%, 差异显著。各龄期均出现的成分是: 十六烷、三十烷和三十一烷, 且三十烷和三十一烷在若虫和成虫期含量都较多 (表 2 和图 2), 徐延熙 (2006) 发现马尾松毛虫体表漂洗物中包含十六烷和三十一烷, 分别占 0.51% 和 3.26%, 生物活性未做研究。

醇类化合物在 2 龄和 3 龄若虫挥发物中所占比例仅次于烷烃类, 分别检出 4 种和 2 种, 占 30.65% 和 32%, 其中 1-辛烯-3-醇为最主要的一类化合物, 构成了朝鲜毛球蚧若虫期的主要成分, 而醇类物质在虫卵中占 8.73%, 成虫挥发物中未检出醇类物质, 差异显著 (表 2 和图 2)。徐延熙 (2006) 报道发现 1-辛烯-3-醇对马尾松毛虫的 4 种寄生性天敌 (蚕饰腹寄蝇、松毛虫狭颊寄蝇、齿腿长尾小蜂和花胸姬蜂) 都具有明显的电生理活性。孔祥波等 (2005) 发现双条杉天牛触角对 1-辛烯-3-醇有很强的触角电位反应, 并推测 1-辛烯-3-醇可能是双条杉天牛非寄主植物释放的绿叶成分。忻伟隆 (2014) 发现 1-辛烯-3-醇可以

引诱白纹伊蚊, 且白纹伊蚊对 1-辛烯-3-醇存在触角电位反应。张国娜 (2012) 发现桔小实蝇在行为实验和触角电位实验中都表现出对 1-辛烯-3-醇的明显反应。徐延熙 (2006) 在马尾松针叶挥发物中检测出 1-辛烯-3-醇, 推测其很可能是一种挥发性绿叶成分, 另据报道 (Tumlinson *et al.*, 1992) 植食性昆虫食入的寄主植物成分在通过肠道处理之后会以分泌物或排泄物的形式排出体外, 所以测得的 1-辛烯-3-醇很有可能是朝鲜毛球蚧在食入植物成分后体现在自身的一种物质。赵丽静 (2011) 发现 1-辛烯-3-醇可以抑制一些病原真菌的菌丝生长, Ryu *et al.* (2004) 研究发现 1-辛烯-3-醇可以诱导植株抗病以防御外来病原菌的侵染, 可见 1-辛烯-3-醇很可能在朝鲜毛球蚧自身的生活史以及与天敌的、寄主的关系中扮演很重要的角色, 值得进一步深入研究。另外田甜等 (2014) 从试验中推测 1-辛烯-3-醇很有可能对西花蓟马具有一定的驱避作用。也有报道 1-辛烯-3-醇是 *Ariolimax columbianus* 的取食抑制剂 (Wood *et al.*, 2001), 也对纵坑切梢小蠹 *Tomicus piniperda* 有抑制作用 (Schlyter *et al.*, 2000)。

酮类化合物相对含量以雌成虫最多, 达到 34.68%, 3 龄若虫次之占 18.97%, 这两个发育阶段的酮类化合物都只含 2-壬酮和 2-十一酮, 随龄期的增加 2-十一酮相对含量由 4.08% 显著增加到 21.85%, 2-壬酮和 2-十一酮构成了朝鲜毛球蚧成虫期的主要成分, 虫卵中含有相同的以上 2 种成分, 仅占 2.10%, 2 龄若虫挥发物中只含另外 2 种酮类化合物: 3-辛酮 (1.8%) 和 3- $\beta$ -二甲氧基苯乙酮 (4.44%) (表 2 和图 2)。忙定泽等 (2012) 研究发现长足大竹象雌虫体表粗提液中存在 2-壬酮, 并通过风洞和 GC-EAD 实验表明 2-壬酮标准品化合物对长足大竹象雄虫具有诱引生物活性和触角电生理活性。李建勋 (2008) 的研究发现 2-十一酮、2-十三酮可以引发甜菜夜蛾雄虫的触角电位反应。1996 年 Bjostad 小组 (Bjostad *et al.*, 1996; Jewett *et al.*, 1996) 分离并鉴定出雌性石蚕蛾成虫性信息素的主要成分为 6-甲基-3-壬酮, 并测得其具有很高的触角电位活性。正如韦卫等 (2006) 所报道的大多数昆虫性信息素为 10 - 18 碳的长链不饱和醇、乙酸酯、醛或酮类。所以猜测 2-壬酮、2-十一酮很有可能是朝鲜毛球蚧的性信息素。

含苯环化合物只在 2 龄若虫、虫卵中检出,

为相同的 2 种物质: 邻二甲苯和乙苯, 虫卵中相对含量达到 76.86%, 远远超过 2 龄若虫 (8.06%), 这两种化合物构成了朝鲜毛球蚧虫卵的主要成分。酚类化合物只有 1 种, 2,4-二叔丁基酚, 仅在 2 龄若虫、成虫中检出, 相对含量分别为 1.06% 和 8.05%。酯类化合物共检出 6 种, 在各发育阶段分别检出 4、3、2 和 3 种, 种类各异, 含量不同, 其中相对含量以雌成虫 (10.16%) 最大, 虫卵 (3.06%) 最小 (表 2 和图 2)。

总之, 本次实验将顶空固相微萃取和气相色谱-质谱进行联用对朝鲜毛球蚧的挥发性成分进行研究, 将固相微萃取应用于昆虫化学生态学的研究, 成功测得了朝鲜毛球蚧各龄期的挥发性组分并对其含量变化进行了分析。孔祥波等 (2010) 利用固相微萃取方法采集了松毛虫雌虫的性信息素成分, 通过气相色谱-质谱和气相色谱-触角电位联用技术, 分析得出其主要成分为反 5, 顺 7-十二碳二烯醇和反 5, 顺 7-十二碳二烯乙酸酯。黄金萍等 (2015) 利用固相微萃取方法收集了黄曲条跳甲雌雄成虫的虫体挥发物, 并测得其主要组分为烷烃类和烯烃类物质, 并选取了雄虫挥发物中特有的化合物异胡薄荷醇和壬醛, 应用四臂嗅觉仪测定黄曲条跳甲成虫对其嗅觉反应。由于昆虫个体之间存在差异, 所以测得的成分也有很大不同。本文研究所测得的虫体挥发物组分中很可能包含着朝鲜毛球蚧的性信息素成分以及对天敌具有吸引作用的利它素成分。然而这些化合物仍然需要做进一步的分离、鉴定, 并对朝鲜毛球蚧的雄虫及其天敌进行相关的生物学试验, 如电生理试验和行为学试验才能确定它们的具体作用, 这也是下一步需要进行的工作。另外, 本文选取了 3 种萃取纤维中吸附性能最好的 100  $\mu\text{m}$  PDMS 进行本次实验, 然而每种萃取纤维所能吸附的成分有限, 还需结合其他提取方法得到更加完善的昆虫信息素组分。通过上述工作, 希望发现朝鲜毛球蚧相关的信息化合物, 利用这些信息化合物, 对朝鲜毛球蚧雄虫进行诱捕, 并干扰其交配, 同时吸引天敌对其进行捕食或寄生, 以达到朝鲜毛球蚧综合防治的目的。

### 参考文献 (References)

Birgit F, Jürgen T, Markus R. Chemometric classification of comb and cuticular waxes of the honeybee *Apis mellifera carnica* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26 (1): 123-137.

- Bjostad LB, Jewett DK, Brigham DL. Sex pheromone of caddisfly *Hesperophylax occidentalis* (Banks) (Trichoptera: Limnephilidae) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1996, 22 (1): 103-121.
- Borchsenius HC. The scale insects on fruit trees in northern and east-northern China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1960, 10 (2): 214-218.
- Colazza S, Mcelfresh JS, Millar JG. Identification of volatile synomones, induced by *Nezara viridula* feeding and oviposition on bean spp., that attract the egg parasitoid *Trissolcus basalis* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 30 (5): 945-964.
- Han BY. Attractive activity to natural enemies and component analysis of the rinses from tea aphid body surface [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2001, 44 (4): 541-547. [韩宝瑜. 茶蚜体表漂洗物对天敌的引诱活性及组分分析 [J]. 昆虫学报, 2001, 44 (4): 541-547]
- Hibbard BE, Lanier GN, Parks SC, et al. Laboratory and field tests with the synthetic sex pheromone of three *Matsucoccus* pine bast scales [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1991, 17: 89-102.
- Huang JP, Luo XZ, Xu X, et al. Study on the volatile constituents of *Phyllostreta striolata* Fabricius and their active constituent of attraction [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (5): 1008-1017. [黄金萍, 罗孝竹, 许鑫, 等. 黄曲条跳甲成虫挥发物成分及其活性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (5): 1008-1017]
- James DG. Field evaluation of herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects: Methyl salicylate and the green lacewing, *Chrysopa nigricornis* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29 (7): 1601-1609.
- Jewett DK, Bjostad LB. Dichloromethane attracts diabroticite larvae in a laboratory behavioral bioassay [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1996, 22 (7): 1331-1344.
- Jia JP, He Y, Huang JX. Solid phase micro-extraction technique and preparation of environmental samples [J]. *Progress in Chemistry*, 1998, 10 (1): 74-84.
- Kong XB, Zhang Z, Wang HB, et al. Analysis of *Platycladus orientalis* volatiles and their electroantennogram responses with *Semanotus bifasciatus* [J]. *Forest Research*, 2005, 18 (3): 260-266. [孔祥波, 张真, 王鸿斌, 等. 侧柏挥发性化学成分的鉴定及其对双条杉天牛的触角电位反应 [J]. 林业科学研究, 2005, 18 (3): 260-266]
- Kong XB, Zhao LL, Zhang Z, et al. Solid-phase microextraction of pheromone components of *Dendrolimus houi* (Lepidoptera: Lasiocampidae) and their characterization by gas chromatography-mass spectrometry and GC-electroantennographic detection [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2010, 53 (8): 857-863. [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]
- Li JX. The Chemosensory Mechanism of Beet Armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner) [D]. Chongqing: Southwestern University, 2008. [李建勋. 甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 化学感受基础的研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2008]
- Liepert C, Dettler K. Role of cuticular hydrocarbons of aphid parasitoids

- in their relationship to aphid – attending ants [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1996, 22 (4): 695 – 707.
- Mang DZ, Luo QH, Shu M, et al. Extraction and identification of cuticular semiochemical components of *Cyrtotrachelus buqueti* Guerin – Meneville (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (3): 291 – 302. [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]
- Rogers ME, Potter DA. Kairomones from scarabaeid grubs and their frass as cues in below – ground host location by the parasitoids *Tiphia vernalis* and *Tiphia pygidialis* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2002, 102: 307 – 314.
- Ryu CM, Farag MA, Hu CH, et al. Bacterial volatiles induce systemic resistance in Arabidopsis [J]. *Plant Physiology*, 2004, 134 (3): 1017 – 1026.
- Schlyter F, Zhang QH, Anderson P, et al. Electrophysiological and behavioural responses of *Tomicus piniperda* and *Tomicus minor* (Coleoptera: Scolytidae) to non – host leaf and bark volatiles [J]. *The Canadian Entomologist*, 2000, 132: 965 – 981.
- Shiojin K, Takabayashi J. Flight response of parasitoids toward plant – herbivore complexes: A comparative study of two parasitoid – herbivore systems on cabbage plant [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2000, 35 (1): 87 – 92.
- Tang FD. The Scale Insects of Horticulture and Forest of China [M]. Taigu: Shanxi Agricultural College Press, 1977, 78 – 79. [汤枋德. 中国园林主要害虫[M]. 太原: 山西农学院出版, 1977, 78 – 79]
- Tang FD. Coccidae of China [M]. Taiyuan: Shanxi Universities United Press, 1991, 213 – 235. [汤枋德. 中国蚧科[M]. 太原: 山西高校联合出版社, 1991, 213 – 235]
- Tian T, Zhi JR, Mou F. The interactions between volatiles and selectivity of *Frankliniella occidentalis* to kidney bean damaged by *Tetranychus urticae* [J]. *Plant Protection*, 2014, 40 (1): 77 – 83. [田甜, 鄧军锐, 牟峰. 西花蓟马对二斑叶螨为害菜豆的选择性与挥发物的关系[J]. 植物保护, 2014, 40 (1): 77 – 83]
- Tumlinson JH, Turlings TCJ, Lewis WJ. The semiochemical complex that mediate insect parasitoid foraging [J]. *Agriculture Zoology Reviews*, 1992, 5: 221 – 252.
- Turlings TCJ, Wackers F. Recruitment of predators and parasitoids by herbivore – injured plant [J]. *Advances in Insect Chemical Ecology*, 2004, 2: 21 – 75.
- Wei W, Zhao LL, Sun JH. Recent advances on lepidopterous (moths) sex pheromones [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2006, 49 (5): 850 – 858. [韦卫, 赵莉茜, 孙江华. 蛾类性信息素研究进展[J]. 昆虫学报, 2006, 49 (5): 850 – 858]
- Wood WF, Archer CL, Largent DL. 1 – Octen – 3 – ol, a banana slug antifeedant from mushrooms [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2001, 29: 531 – 533.
- Xie YP. The Scale Insects of the Forest and Fruit Trees in Shanxi of China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1998, 54 – 57. [谢映平. 山西林果蚧虫[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998, 54 – 57]
- Xie YP, Zheng LY. Ultra – morphology and infrared absorption spectra of the waxes secreted by a scale insect, *Didesmococcus koreanus* (Homoptera: Coccidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2002, 45 (3): 329 – 335. [谢映平, 郑乐怡. 朝鲜毛球蚧蜡分泌物的超微形态与红外光谱特征[J]. 昆虫学报, 2002, 45 (3): 329 – 335]
- Xin WL. Influence of Association between Repellents and Attractants on the Behavior and Antenna Electrophysiology of Mosquitoes [D]. Nanchang: Agricultural University of Jiangxi, 2014. [忻伟隆. 驱避化合物与引诱物综合作用对蚊虫行为及触角电生理影响的研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2014]
- Xu YX. Absorption and Identification of the Semiochemicals from *Pinus massoniana* and *Dendrolimus punctatus* and Activity Tests to Parasitoids [D]. Taian: Agricultural University of Shandong, 2006. [徐延熙. 马尾松、马尾松毛虫信息化学物质的提取、鉴定及对天敌的活性测定[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006]
- Zada A, Dunkelblum E, Assael F, et al. Sex pheromone of the vine mealybug, *Planococcus ficus* in Israel: Occurrence of a second component in a mass – reared population [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29 (4): 977 – 988.
- Zhang GN. Ultrastructure of Sensillae of Fruit Flies and Responses of the Oriental Fruit Fly, *Bactrocera dorsalis* to Host – plant Volatiles [D]. Chongqing: Southwestern University, 2012. [张国娜. 实蝇类害虫感受器超微结构及桔小实蝇对寄主挥发物的趋性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012]
- Zhang ZG, Shi YL. The biology of *Didesmococcus koreanus* Borchs on fruit trees [J]. *Shandong Agricultural College*, 1955, 1 (1): 35 – 42. [张之光, 石毓亮. 朝鲜球蚧在果树上的生物学研究[J]. 山东农学院学报, 1955, 1 (1): 35 – 42]
- Zhao LJ. Preliminary Study on Pesticidal Activities of Benzothiazole and Other Microbial Volatile Organic Compounds [D]. Taian: Agricultural University of Shandong, 2011. [赵丽静. 苯并噻唑等三种微生物源挥发性有机化合物的农药活性初步研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011]