

文章编号:1001-6880(2014)3-0374-06

不同提取方法对印度紫檀叶片挥发性成分的 GC-MS 分析

郑丽霞¹,高泽正^{1,2},吴伟坚^{1*},梁广文¹,符悦冠³¹华南农业大学资源环境学院,广州 510642;²中国科学院华南植物园,广州 510520;³中国热带农业科学院环境与植物保护研究所,儋州 571737

摘要:采用气相色谱-质谱法(GC-MS)分析同时蒸馏萃取法(SDE)、固相微萃取法(SPME)和动态顶空吸附法(DHA)三种方法提取的印度紫檀挥发性成分。结果表明:三种方法提取印度紫檀挥发油的化学成分有差异。同时蒸馏萃取法提取印度紫檀挥发油鉴定出25种化合物,主要成分为2-硝基乙醇,相对含量为35.29%;固相微萃取法提取印度紫檀挥发油鉴定出27种化合物,主要成分为乙酸叶醇酯,相对含量为33.62%;动态顶空吸附法提取印度紫檀挥发油鉴定出27种化合物,主要成分为2-硝基乙醇,相对含量为30.42%。三种方法共检测到2种相同组分,检出的主要物质是醇类、酯类和缩醛。

关键词:印度紫檀;同时蒸馏萃取;固相微萃取;动态顶空吸附;气相色谱-质谱

中图分类号:S796;O657

文献标识码:A

Analysis of Volatile Components from *Pterocarpus indicus* Leaves with Different Extraction Methods by Gas Chromatography-Mass Spectrometry

ZHENG Li-xia¹, GAO Ze-zheng², WU Wei-jian^{1*}, LIANG Guang-wen¹, FU Yue-guan³

¹Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; ²South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510520, China; ³Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou, Hainan 571737, China

Abstract: The volatile components from *Pterocarpus indicus* leaves were extracted by simultaneous distillation extraction (SDE), solid phase micro-extraction (SPME) and dynamic headspace adsorption (DHA) and analyzed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results indicated that the volatile oil compounds extracted out using the three methods were different. Twenty-five chemical components were identified from the SDE extract, the main component was 2-nitroethanol, accounting for 35.29% of the total identified components; Twenty-seven chemical components were identified from the SPME extract, the main component was cis-3-hexenyl-1-acetate, accounting for 33.62% of the total identified components; Twenty-seven chemical components were identified from the DHA extract, the main component was 2-nitroethanol, accounting for 30.42% of the total identified components. Two compounds were detected in all the three extracts. In addition, alcohols, esters and acetals were the major components detected in all the three extracts.

Key words: *Pterocarpus Indicus*; simultaneous distillation extraction; solid phase micro-extraction; dynamic headspace adsorption; gas chromatography-mass spectrometry

印度紫檀(*Pterocarpus indicus*)属蝶形花科紫檀属,俗称紫檀、蔷薇木、赤檀、青龙木、红木。原产印度、印度尼西亚、马来西亚、菲律宾等国^[1],我国广东、广西、海南及云南均有引种栽培,主要种植于植物园、树木园和四旁绿化^[2]。印度紫檀作为热带、亚热带地区的珍贵用材树种之一,不仅具有重要的

经济利用及观赏价值,而且具有速生、土壤改良等特点^[3]。2006年,在海南发现一种新入侵害虫——螺旋粉虱(*Aleurodicus dispersus*),其对印度紫檀等造成严重危害^[4]。

植物挥发性次生物质对昆虫的行为有着重要的影响。植物挥发性次生物质是一些分子量在100~200的有机化学物质,包括烃类、醇类、醛类、酮类、有机酸、内酯、含氮化合物以及有机硫等化合物^[5]。常用的植物挥发物的分离提取方法主要有同时蒸馏萃取法(simultaneous distillation extraction, SDE)、固

收稿日期:2012-12-06 接受日期:2013-03-21

基金项目:公益性行业(农业)科研专项项目(201103026-4,200803023-02);科技部农业成果转化资金项目(2011GB23260037)

* 通讯作者 Tel:86-20-85283467;E-mail:weijwu@scau.edu.cn

相微萃取法(solid phase micro-extraction, SPME)、动态顶空吸附法(dynamic headspace adsorption, DHA)和超临界流体萃取(supercritical fluid extraction, SFE)等^[6],以上方法都各具特点。国外已有研究报道了印度紫檀树皮和心材的挥发物化学成分^[7]。印度紫檀叶片挥发物的化学成分还未见报道。选择合适的挥发性成分分离提取方法,对于研究印度紫檀叶片的挥发性成分有重要意义。本文作者使用SDE、SPME 和 DHA 三种方法提取印度紫檀叶片中的挥发性成分,使用气相色谱—质谱(GC-MS)来对印度紫檀叶片中的挥发性成分进行分析,从而建立一种快速、准确、简单的挥发性成分提取方法,以期为研究螺旋粉虱等害虫与印度紫檀的相互关系提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

从广州华南农业大学校园采集新鲜印度紫檀叶片,洗去表面灰尘杂质,晾干备用;华南农业大学昆虫生态室栽培的印度紫檀盆栽。

1.2 仪器和设备

动态顶空采集装置,定制;同时蒸馏萃取装置,定制;手动 SPME 进样器,100 μm PDMS-GC/MS 萃取头,美国 Supelco 公司生产;RE-52A 旋转蒸发仪,上海亚荣生化仪器厂生产;GCMS-QP2010 联用仪,日本岛津公司生产。

1.3 实验方法

1.3.1 同时蒸馏萃取

将印度紫檀叶片洗净切碎称取 25 g 置于 1 L 圆底烧瓶中,加入蒸馏水 500 mL,连接于同时蒸馏萃取装置一端,用电热套加热,电热套的电压保持在 100 V 左右保持沸腾;装置的另一端连接装有 150 mL 无水乙醚的 500 mL 圆底烧瓶,在 50 ℃下水浴加热,连续萃取 3 h。以无水硫酸钠脱水,过滤,滤液用旋转蒸发仪除去乙醚,得到的浅黄色油状物即是印度紫檀挥发油。

1.3.2 固相微萃取

将印度紫檀叶片洗净切碎称取 25 g 置于 1 L 的样品瓶中,用聚氟乙烯隔垫密封,备用。将 SPME 的萃取纤维头在气相色谱的进样口活化 30 min,活化温度为 250 ℃,活化后将固相微萃取的针管插入样品瓶内,推出萃取头,顶空萃取 30 min,缩回纤维头,将针管推出样品瓶。将 SPME 针管插入 GC/MS 进

样口,250 ℃热脱附样品进色谱柱。

1.3.3 动态顶空吸附

采样用大气采样仪(QCD-1500 型,中国盐城银河科技有限公司生产),Tenax-TA 吸附管(15 cm × 0.6 cm)和 GDX-101 过滤管(15 cm × 0.6 cm),采集的印度紫檀样枝和韧皮部组织用 Tedlar(30 cm × 26 cm)采样袋装裹。其基本组成如下:大气采样仪(流量计(活性炭柱空气过滤装置(GDX-101 过滤管(采样袋(Tenax-TA 吸附管(流量计(大气采样仪。大气采样仪出气口和进气口流量分别为 250 mL/min 和 200 mL/min,连续吸附 8 h 后取下吸附管,正己烷 2 mL 进行洗脱,用氮气吹进行浓缩至约 1 mL,每一吸附管洗脱及浓缩时间为 2 min。

1.3.4 GC-MS 分析条件

使用气相色谱-质谱联用仪为岛津 GCMS-QP2010, DB-5MS 型气相色谱柱(30 m × 0.25 mm, 0.25 μm),色谱条件:进样量为 1 μL,分流比为 10 : 1,进样口、接口温度分别为 250 ℃ 和 280 ℃;柱升温程序:起始温度 60 ℃,保持 2 min,以 10 ℃/min 速度升温至 250 ℃,保持 10 min,载气为高纯氦气,流量 1.0 mL/min。质谱条件:EI 离子源 200 ℃,电子能量 70 eV,扫描质量范围 40 ~ 450 amu。

1.4 化合物的初步鉴定

定性分析采用计算机谱库(美国 NIST 2005)进行初步检索及匹配分析,并结合文献进行人工谱图解析,确定挥发性化合物的各个化学成分。采用面积归一法计算已确定的印度紫檀挥发性化合物的相对含量。

2 结果与分析

2.1 三种方法提取挥发性成分的检出结果

图 1 为 SDE、SPME 和 DHA 三种方法所得印度紫檀挥发物的总离子流图,从图 1 和表 1 可知,三种方法检出并鉴定出印度紫檀的挥发性成分共 70 种,包括烃类、醇类、醛类、酮类、酚类、酯类、醚类、缩醛及其它种类的化合物等。其中 SDE 法检出 25 种,SPME 法检出 27 种,DHA 法检出 27 种;SDE 法和 DHA 法检出的化合物出峰时间较靠前,在前 20 min 内,SDE 法检出 22 种化合物,DHA 法检出 20 种化合物,而 SPME 法则只检出 10 种化合物。三种方法检出的物质只有 2 种相同,即叶醇和乙酸叶醇酯;SDE 法和 DHA 法检出的相同物质有 6 种;SPME 法和 DHA 法检出的相同物质只有(Z)-丁酸-3-己烯酯

和乙酸叶醇酯;19 种物质仅由 SDE 法检出,24 种物

质仅由 SPME 法检出,20 种物质仅由 DHA 法检出。

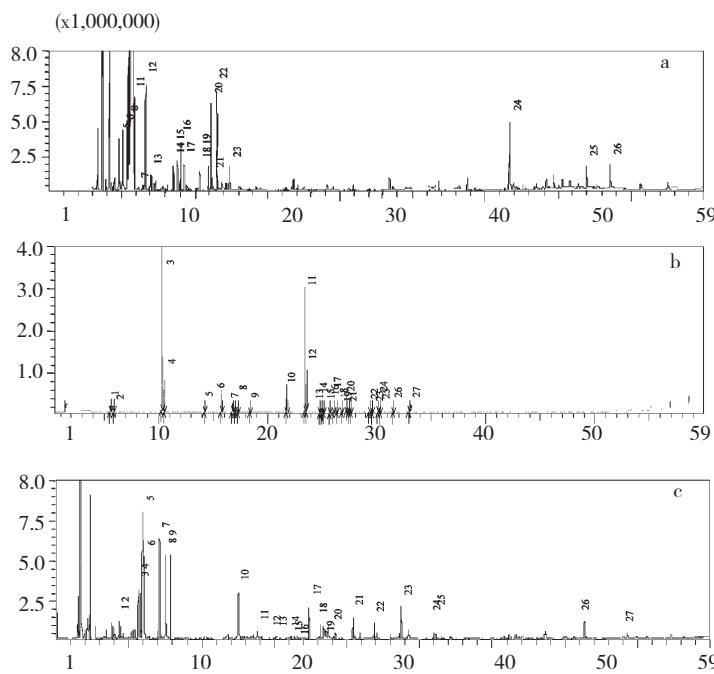


图 1 SDE(a)、SPME(b) 及 DHA(c) 所得印度紫檀挥发性物质的 GC-MS 总离子流图

Fig. 1 GC-MS total ion chromatograms of volatile components of *P. indicus* extracted by SDE, SPME and DHA

2.2 挥发性成分的比较

印度紫檀通过 SDE、SPME 和 DHA 三种方法分析之后,所检出的挥发性成分差异比较明显。GC-MS 鉴定出的印度紫檀挥发性成分及其相对含量见表 1。SDE 法检出烃类 2 种、醇类 6 种、酮类 1 种、酯类 5 种、醚类 3 种、缩醛 8 种,其中醇类和缩醛的相对含量分别为 47.44% 和 31.57%,主要是 2-硝基乙醇(35.29%)、叶醇(4.23%)、2,3-丁二醇(3.16%)、1-辛烯-3-醇(0.88%)、4-甲基-1,3-二氧化杂环戊烷(11.18%)、2,4,5-三甲基-1,3-二氧化杂环戊烷(5.57%)、2-甲氧基-1,3-二氧化戊烷(4.41%)、甘油缩甲醛(3.57%)、1,1-二氧化乙烷(3.49%)等;SPME 法检出的烃类 5 种、醇类 4 种、酮类 4 种、酚类 1 种、酯类 9 种、醚类 1 种、其它化合物 3 种。其主要检出的是酯类(62.77%)和烃类(15.67%),其中乙酸叶醇酯和己酸叶醇酯的相对含量分别为 33.62% 和 25.36%,剩余 7 种酯的相对含量之和为 3.79%,检出的烃类主要是紫苏烯(5.99%)和石竹烯(7.89%);DHA 法检出的醇类 8 种、醛类 2 种、酮类 4 种、酚类 1 种、酯类 4 种、醚类 3 种、缩醛 3 种及其它化合物 2 种,醇类、醚类和缩醛所占相对含量分别为 47.92%、18.05% 和 10.87%,主要是 2-己醇(0.82%)、2-硝基乙醇(30.42%)、2-

异丙氧基乙醇(3.51%)、叶醇(10.65%)、2,4-二甲基-3-戊醇(1.49%)、2-乙氧基丁烷(5.44%)、2-乙氧基-3-氯丁烷(4.58%)、2-乙氧基戊烷(8.03%)、2-乙基-1,3-二氧化戊烷(1.78%)、二乙醇缩乙醛(7.84%)和 2,4,5-三甲基-1,3-二氧化杂环戊烷(1.25%)。三种方法检出的结果差异较大,共同检出的化合物只有叶醇和乙酸叶醇酯。SDE 法和 DHA 法所检出的主要是一些分子量较小的醇类、醚类和缩醛等,所检出的相同物质也相对较多,这两种方法都检出了含量较高的 2-硝基乙醇,相对含量分别达到了 35.29% 和 30.42%;而 SPME 法所检出的主要是一些分子量相对较大的酯类和烃类物质,这与萃取头的选择关系很大,不同种类涂层的萃取头有着不同的性能,对不同挥发物的萃取效果影响很大。

3 讨论

昆虫在寻找寄主植物的过程中,寄主植物的气味传递着有关取食、产卵及其它活动的可行性信息,对昆虫的行为反应起着关键的作用^[8]。三种方法都检出了叶醇和乙酸叶醇酯,其中叶醇和反-2-己烯-1-醇、1-己醇结合棉铃象甲聚集信息素使用,能够显著提高棉铃象甲的田间诱捕量^[9]。蚜虫的天敌食蚜蝇、瓢虫和草蛉等,能够利用绿叶植物气味找到蚜

表1 SDE、SPME 和 DHA 提取的印度紫檀挥发性成分分析结果

Table 1 Analysis result of volatile components of *P. indicus* extracted by SDE, SPME and DHA

序号 No.	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	SDE			SPME			DHA		
			t_R (min)	相对 含量 Content (%)	相似度 SI (%)	t_R (min)	相对 含量 Content (%)	相似度 SI (%)	t_R (min)	相对 含量 Content (%)	相似度 SI (%)
烃类(7种) Hydrocarbons (seven)											
1	紫苏烯 Perillen	C ₁₀ H ₁₄ O	-	-	-	10.530	5.99	96	-	-	-
2	石竹烯 Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	-	-	-	23.591	7.89	93	-	-	-
3	2,6,10,14-四甲基十六烷 2,6,10,14-Tetramethylhexadecane	C ₂₀ H ₄₂	-	-	-	25.711	0.25	89	-	-	-
4	α-法尼烯 α-Farnesene	C ₁₅ H ₂₄	-	-	-	27.451	0.58	85	-	-	-
5	二十一烷 Heneicosane	C ₂₁ H ₄₄	-	-	-	32.955	0.96	93	-	-	-
6	三十六烷 Hexatriacontane	C ₃₆ H ₇₄	36.996	0.99	96	-	-	-	-	-	-
7	四十烷 Tetracontane	C ₄₀ H ₈₂	38.542	1.47	96	-	-	-	-	-	-
醇类(15种) Alcohols (fifteen)											
8	2-己醇 2-Hexanol	C ₆ H ₁₄ O	-	-	-	-	-	-	4.398	0.82	96
9	2,3-丁二醇 2,3-Dutanediol	C ₄ H ₁₀ O ₂	5.083	3.16	98	-	-	-	-	-	-
10	1-己醇 1-Hexanol	C ₆ H ₁₄ O	-	-	-	5.557	1.77	86	-	-	-
11	2-硝基乙醇 2-Nitroethanol	C ₂ H ₅ NO ₃	5.732	35.29	84	-	-	-	6.010	30.42	84
12	2-异丙氧基乙醇 2-Isopropoxyethanol	C ₅ H ₁₂ O ₂	-	-	-	-	-	-	5.786	3.51	89
13	叶醇 cis-3-Hexen-1-ol	C ₆ H ₁₂ O	6.651	4.23	97	5.900	0.66	92	7.111	10.65	97
14	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	C ₈ H ₁₆ O	10.336	0.88	98	-	-	-	-	-	-
15	麦芽醇 Maltol	C ₆ H ₆ O ₃	-	-	-	-	-	-	16.425	0.36	97
16	丙三醇 Glycerol	C ₃ H ₈ O ₃	-	-	-	-	-	-	16.627	0.36	90
17	反式-对-2,8-孟二烯-1-醇 trans-p-Menth-2,8-dienol	C ₁₀ H ₁₆ O	-	-	-	-	-	-	16.785	0.31	80
18	2,4-二甲基-3-戊醇 2,4-Dimethyl-3-pentanol	C ₇ H ₁₆ O	-	-	-	-	-	-	18.219	1.49	86
19	法尼醇 Farnesol	C ₁₅ H ₂₆ O	-	-	-	29.561	0.44	86	-	-	-
20	表雪松醇 Epicedrol	C ₁₅ H ₂₆ O	-	-	-	30.343	0.41	79	-	-	-
21	植醇 Phytol	C ₂₀ H ₄₀ O	31.673	2.73	97	-	-	-	-	-	-
22	3-(1-乙氧基乙氧基)-2-甲基-1,4-丁二醇 3-(1-Ethoxyethoxy)-2-methylbutane-1,4-diol	C ₉ H ₁₈ O ₃	7.004	1.16	84	-	-	-	-	-	-
醛类(2种) Aldehydes (two)											
23	苯乙醛 Benzeneacetaldehyde	C ₈ H ₈ O	-	-	-	-	-	-	13.857	0.69	95
24	壬醛 Nonanal	C ₉ H ₁₈ O	-	-	-	-	-	-	16.217	0.35	84
酮类(9种) Ketones (nine)											
25	3-羟基-2-丁酮 3-Hydroxy-2-butanone	C ₄ H ₈ O ₂	3.343	2.06	98	-	-	-	-	-	-
26	4-乙氧基-2-丁酮 4-Ethoxy-2-butanone	C ₆ H ₁₂ O ₂	-	-	-	-	-	-	15.462	0.21	77
27	1-环己基-3-乙氧基-2-丁酮 1-Cyclohexyl-3-ethoxy-2-butanone	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	-	-	-	-	-	-	21.864	2.03	89
28	3-甲氧基苯乙酮 3-Methoxyacetophenone	C ₉ H ₁₀ O ₂	-	-	-	-	-	-	23.712	3.88	86
29	α-紫罗兰酮 α-Ionone	C ₁₃ H ₂₀ O	-	-	-	24.76	1.13	89	-	-	-
30	香叶基丙酮 Geranylacetone	C ₁₃ H ₂₂ O	-	-	-	25.092	0.27	85	-	-	-
31	4-乙氧基-2-羟基苯基十八酮 1-(4-Ethoxy-2-hydroxyphenyl)-1-octadecanone	C ₂₆ H ₄₄ O ₃	-	-	-	25.999	0.37	72	-	-	-
32	β-紫罗兰酮 β-Ionone	C ₁₃ H ₂₀ O	-	-	-	26.346	0.62	80	-	-	-

33	植酮 Hexahydrofarnesyl acetone	C ₁₈ H ₃₆ O	-	-	-	-	-	-	39.342	0.61	95
酚类(2种) Phenols (two)											
34	乙烯基苯酚 Ethenyloxybenzene	C ₈ H ₈ O	-	-	-	-	-	-	20.384	2.29	86
35	2,6-二叔丁基对甲酚 Butylated hydroxytoluene	C ₁₅ H ₂₄ O	-	-	-	27.615	0.69	85	-	-	-
酯类(15种) Esters (fifteen)											
36	丁酸乙酯 Ethyl butyrate	C ₆ H ₁₂ O ₂	5.215	0.04	81	-	-	-	-	-	-
37	丙二醇甲醚醋酸酯	C ₆ H ₁₂ O ₃	5.493	4.38	87	-	-	-	-	-	-
36	1-Methoxy-2-propyl acetate 3-甲氧基乙酸丙酯	C ₆ H ₁₃ O ₃	8.770	1.30	87	-	-	-	-	-	-
39	3-Methoxypropyl acetate 乙酸甲氧丙酯	C ₉ H ₁₈ O ₅	8.987	2.21	85	-	-	-	-	-	-
40	Triethylene glycol monomethyl ether acetate 乙酸叶醇酯 cis-3-Hexenyl-1-acetate	C ₈ H ₁₄ O ₂	11.213	0.48	94	10.302	33.62	95	12.545	4.18	96
41	乙酸己酯 Hexyl acetate	C ₈ H ₁₆ O ₂	-	-	-	14.258	0.31	96	-	-	-
42	(Z)-丁酸-3-己烯酯 cis-3-Hexenyl butyrate	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	-	-	-	16.770	1.79	91	25.965	0.65	94
43	丁酸己酯 Hexyl butyrate	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	-	-	-	16.965	0.16	74	-	-	-
44	戊酸叶醇酯 cis-3-Hexenylvalerate	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	-	-	-	18.394	0.20	78	-	-	-
45	2-(1-乙氧基乙氧基)丙酸乙酯 Ethyl 2-(1-ethoxyethoxy)propanoate	C ₉ H ₁₈ O ₄	-	-	-	-	-	-	18.771	2.05	86
46	己酸叶醇酯 cis-3-Hexenyl hexanoate	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	-	-	-	23.434	25.36	84	-	-	-
47	甲酸环己酯 Cyclohexyl formate	C ₇ H ₁₂ O ₂	-	-	-	24.962	0.49	80	-	-	-
48	异丁烯酸环己酯 Cyclohexyl methacrylate	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	-	-	-	-	-	-	26.124	0.56	82
49	苯甲酸叶醇酯 cis-3-Hexenyl benzoate	C ₁₃ H ₁₆ O ₂	-	-	-	29.337	0.46	87	-	-	-
50	亚硫酸,丁基十三烷基酯 Sulfurous acid, butyl tridecyl ester	C ₁₇ H ₃₆ O ₃ S	-	-	31.530	0.38	88	-	-	-	-
醚类(5种) Ethers (five)											
51	2-乙氧基丁烷 2-Ethoxybutane	C ₆ H ₁₄ O	5.364	2.51	92	-	-	-	5.648	5.44	91
52	2-乙氧基丙烷 2-Ethoxypropane	C ₅ H ₁₂ O	5.798	2.08	85	-	-	-	-	-	-
53	2-乙氧基-3-氯丁烷 2-Ethoxy-3-chlorobutane	C ₆ H ₁₃ ClO	-	-	-	-	-	-	6.079	4.58	92
54	2-乙氧基戊烷 2-Ethoxypentane	C ₇ H ₁₆ O	8.484	0.98	88	-	-	-	7.504	8.03	88
55	1-丁氧基戊烷 1-Butoxypentane	C ₉ H ₂₀ O	-	-	-	17.250	0.18	79	-	-	-
缩醛类(10种) Acetals (ten)											
56	1,1-二氧基乙烷 1,1-Diethoxyethane	C ₆ H ₁₄ O ₂	3.713	3.49	93	-	-	-	-	-	-
57	1-乙氧基-1-丙氧基乙烷 1-Ethoxy-1-propoxyethane	C ₇ H ₁₆ O ₂	9.219	0.93	88	-	-	-	-	-	-
58	2-甲氧基甲基-2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊烷 2-(Methoxymethyl)-2,4,5-trimethyl-1,3-dioxolane	C ₈ H ₁₆ O ₃	10.923	1.13	87	-	-	-	-	-	-
59	2-乙基-2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊烷 2-Ethyl-2,4,5-trimethyl-1,3-dioxolane	C ₈ H ₁₆ O ₂	12.426	1.26	85	-	-	-	-	-	-
60	2-乙基-1,3-二氧戊烷 2-Ethyl-1,3-dioxolane	C ₅ H ₁₀ O ₂	-	-	-	-	-	-	18.419	1.78	84
61	二乙醇缩乙醛 1,1-Diethoxyethane	C ₆ H ₁₄ O ₂	-	-	-	-	-	-	7.873	7.84	88
62	甘油缩甲醛 1,3-Dioxan-5-ol	C ₄ H ₈ O ₃	11.104	3.57	86	-	-	-	-	-	-
63	2,4,5-三甲基-1,3-二氧杂环戊烷 2,4,5-Trimethyl-1,3-dioxolane	C ₆ H ₁₂ O ₂	3.667	5.57	96	-	-	-	4.303	1.25	95
64	4-甲基-1,3-二氧杂环戊烷 4-Methyl-1,3-dioxolane	C ₅ H ₁₀ O ₂	4.151	11.18	86	-	-	-	-	-	-
65	2-甲氧基-1,3-二氧戊烷 2-Methoxy-1,3-dioxolane	C ₄ H ₈ O ₃	11.530	4.41	87	-	-	-	-	-	-
其它(5种) Others (five)											
66	苯乙氰 Benzyl cyanide	C ₈ H ₇ N	-	-	-	-	-	-	17.440	3.64	96
67	十甲基环五硅氧烷 Decamethylcyclopentasiloxane	C ₁₀ H ₃₀ O ₅ Si ₅	-	-	-	15.735	4.67	93	-	-	-

68	二环己基丙二腈 2,2-Dicyclohexylmalononitrile	C ₁₂ H ₂₂ N ₂	-	-	-	-	-	-	36.368	2.01	85
69	环己硅氧烷 Dodecamethylcyclohexasiloxane	C ₁₂ H ₃₆ O ₆ Si ₆	-	-	-	21.734	5.40	93	-	-	-
70	十四甲基环己硅氧烷 Tetradecamethylcycloheptasiloxane	C ₁₄ H ₄₂ O ₇ Si ₇	-	-	-	27.221	3.40	90	-	-	-

注:“-”表示未检测到。

Note: “-” indicates not detected.

虫进行捕食^[10,11]。本研究采用 SDE、SPME 和 DHA 三种方法,提取分析了螺旋粉虱的寄主植物印度紫檀挥发物的主要化学成分。三种方法提取印度紫檀叶片挥发物的化学组成相差较大,SDE 法和 DHA 法检出的主要分子量较小的醇类和缩醛等,而 SPME 法所检出的主要分子量相对较大的酯类和烃类物质,其重复性和重复效果不佳。所以将 SDE 法和 DHA 法这两种方法结合起来,能更好更全面地得到一些分子量较小的植物挥发性次生物如一些 6 个碳的醇类、烃类和酯类等,这些 6 个碳的绿叶植物气味在植食性昆虫寻找寄主时起着重要的作用,同时也为进一步探究螺旋粉虱等植食性昆虫危害寄主植物的化学机制提供理论依据。

参考文献

- Wang WB(王卫斌). Sustainable development countermeasures of redwoods tree species in China. *J Forest Sci Tech*(福建林业科技), 2003, 30:108-111.
- Zeng J(曾杰), Chen QD(陈青度), Li XM(李小梅). Introduction to *Pterocarpus* tree species in the global tropics and its perspective in China. *Forest Sci Tech*(广东林业科技), 2000, 16(4):38-44.
- Rojo JP. Pantropic speciation of *Pterocarpus* (Leguminosae-Papilionaceae) and the Malesia-Pacific species. *Forest Abs*, 1977, 3;19-32.
- Yu GY(虞国跃), Zhang GL(张国良), Peng ZQ(彭正强), et al. The spiraling whitefly, *Aleurodicus dispersus*, invaded
- Hainan island of China. *Chin Bull Entomol*(昆虫知识), 2007, 44:824.
- Hsiao TH. Feeding behavior in comprehensive insect. *Physiol Biochem Pharmacol*, 1985, 9:471-512.
- Wang HB(王鸿斌), Zhang Z(张真), Kong XB(孔祥波), et al. Relationship between release regularity of volatiles from *Pinus tabulaeformis* and the damage by *Dendroctonus valens*. *J Beijing Forest Univ*(北京林业大学学报), 2005, 27(2): 75-80.
- Takeuchi S, Kono Y, Mizutani T, et al. A bioactive polyphenolic constituent in the bark of *Pterocarpus indicus*, Willd. I. isolation and characterization. *Agric Biol Chem*, 1986, 50: 569-573.
- Pitts RT, Zwiebel JL. Antennal sensilla of two female anopheline sibling species with differing host ranges. *Malaria J*, 2006, 5:26-29.
- Dickens JC. Green leaf volatiles enhance aggregation pheromone of boll weevil, *Anthonomus grandis*. *Entomol Exp Appl*, 1989, 52:191-203.
- Zhu J, Cossé AA, Obrycki JJ, et al. Olfactory reactions of the twelve-spotted lady beetle, *Coleomegilla maculata* and the green lacewing, *Chrysoperla* to semiochemicals released from their prey and host plant: Electroantennogram and behavioral responses. *J Chem Ecol*, 1999, 5:1163-1177.
- Harmel N, Almohamad R, Fauconnier ML, et al. Role of terpenes from aphid-infested potato on searching and oviposition behavior of the hoverfly predator *Episyrrhus balteatus*. *Insect Sci*, 2007, 14:57-63.

(上接第 430 页)

- Kim SH, Lee SJ, Lee JH, et al. Antimicrobial activity of 9-O-acyl- and 9-O-alkylberberrubine derivatives. *Planta Med*, 2002, 68:277-281.
- Bodiwala HS, Sabde S, Mitra D, et al. Synthesis of 9-substituted derivatives of berberine as anti-HIV agents. *Eur J Med Chem*, 2011, 46:1045-1049.
- Das B, Srinivas K. Conversion of Berberine into berberrubine by selective demethylation under microwave irradiation. *Synth Commun*, 2002, 32:3027-3029.
- Zhang XM(张明晓), Li C(李聪), Zheng J(郑静), et al. Microwave synthesis and insecticidal activity of 9-alkoxy-berberine derivatives. CCS · The Third National Conference on Organic Synthetic Chemistry and Process(中国化学会·全国第三届有机合成化学与过程学术讨论会), 2010-10-18.
- Lv DX(吕道锡). Chemical constituents and their biological activities from berberis agricola ahrendt. Chongqing: Southwest University(西南大学), PhD. 2007.