

文章编号: 1674-7054(2017)04-0459-07

白木香天然虫漏和人工砍伤所产沉香的 GC-MS 分析

王宇光¹, 王 军^{1,2}, 杨锦玲^{1,2}, 梅文莉^{1,2}, 戴好富^{1,2}

(1. 中国热带农业科学院 热带生物技术研究所/农业部热带作物生物学与遗传资源利用重点实验室/海南省黎药资源天然产物研究与利用重点实验室, 海口 571101; 2. 海南省沉香工程技术研究中心, 海口 571101)

摘 要: 在白木香树自然虫蚀同一树干的相邻部位进行人工砍伤, 2 年后分别取香, 采用气相色谱-质谱 (GC-MS) 分析, 结果表明: 这 2 种方法所产的沉香化学成分相近, 但有一定的差异, 虫漏沉香的倍半萜和色酮类化合物的相对含量较高。说明沉香的化学成分既受到白木香树的遗传因子的影响, 也受到外部作用因子的影响。在本次检测的样品中, 虫漏沉香质量为优。

关键词: 白木香; 虫漏; 砍伤法; GC-MS 分析

中图分类号: O 657.63

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2017.04.014

沉香为瑞香科沉香属 (*Aquilaria* Lam.) 植物中含有树脂的木材^[1-2], 有药用、香料和文化收藏等价值^[3], 近年来受到广泛关注。由于野生沉香植物资源已面临枯竭, 我国的海南、广东、广西、云南等省及东南亚国家大力发展沉香人工种植, 但种香容易产香难^[4], 现在面临的首要问题是如何使沉香树高效产生沉香。健康的沉香树组织必须受到伤害后才会形成沉香^[5], 20 世纪 70 年代以来发展了打钉法、凿洞法、砍伤法、半断杆法、火烙法、微生物诱导法及化学诱导法等多种人工结香技术, 并初步获得了应用, 但各种结香方法均有优缺点^[6]。打钉法、凿洞法、砍伤法、半断杆法、火烙法结香效果较好, 所产沉香也较接近天然沉香^[7], 但耗费的人工较多、成本高、收效慢。微生物诱导法结香体积较小, 易受到外界多种因素的影响, 效果不稳定。化学结香法易于规模化操作, 可实现整树结香, 人工费用低, 产量高, 结香时间短, 但所产沉香与传统的天然优质沉香的风格有所不同^[8-9]。宋代丁谓在《天香传》中, 将海南沉香划分为“四名十二状”。四名即: 沉香、栈香、生结、黄熟。十二状即: 乌文格、黄蜡、牛目、昆仑梅格、虫漏、伞竹格、茅叶、鹧鸪班。其中, 他最称赞虫漏“凡曰虫漏, 其香优佳, 盖香兼黄熟, 虫蛀蛇攻, 腐朽尽去, 菁英独存者也。”虫漏沉香, 是沉香树木质组织受到昆虫的侵蚀、伤害和胁迫下经过长时间形成的, 其间还包括微生物等多种因子的影响, 所致沉香被业界公认为优质天然沉香之一^[10]。沉香的形成同时受到沉香树遗传属性和诱导方式的共同影响^[11]。因此, 分析比较同一白木香树杆 2 处相邻部位分别由虫漏和砍伤法所产沉香的化学成分, 进而比较它们所产沉香的差异, 可以排除不同个树遗传方面的相异所造成的不同。关于沉香化学成分的研究, 国内外有了许多报道, 主要是采用 GC-MS 技术进行分析^[7,12]。笔者利用 GC-MS 技术分析比较天然虫漏沉香和人工砍伤法所产沉香在化学成分上的异同, 旨在为进一步发展虫漏结香技术提供依据。

收稿日期: 2017-07-12

修回日期: 2017-10-11

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303117); 海南省重大科技计划项目(ZDKJ2016004); 海南省科协青年科技英才学术创新计划项目(HAST201628); 海南省重点研发项目(ZDYF2016210, ZDYF2017046)

作者简介: 王宇光(1966-), 男, 副研究员。研究方向: 生物学。E-mail: wangyuguang@itbb.org.cn

通信作者: 戴好富(1974-), 男, 研究员, 博士。研究方向: 天然产物化学。E-mail: daihaofu@itbb.org.cn

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂 万分之一电子秤(型号为 BP221S,北京赛多利斯天平有限公司);色谱-质谱(GC-M)联用仪(型号为 HP6890/5975C GC/MS,由美国安捷伦公司),色谱柱为弹性石英毛细管柱: HP-5MS 5% Phenyl Methyl Siloxane(30 m×0.25 mm×0.25 μm);萃取均质用美国 BRANSONIC-5510E-DTH 超声波清洗仪。气质中使用的试剂均为分析级。

1.2 样品 经中国热带农业科学院热带生物技术研究王军博士鉴定为白木香(*Aquilaria sinensis*)。采样地点为广东化州市平定镇河背村白木香种植基地。在1棵10年生的白木香树的一侧枝上,采用砍伤法进行人工结香(在临近部位有虫漏现象),2年后取下,分离虫漏结香部位、砍伤结香部位以及两者之间的过渡部位(图1)。



图1 白木香样品图

样品 C1: 同一树干虫漏部位; 样品 C2: 同一树干砍伤和虫漏之间的过渡部位; 样品 C3: 同一树干半断砍伤部位

Fig. 1 Photos of samples

Sample C1: The part of the tree trunk of *Aquilaria sinensis* induced by insects; Sample C2: The transitional part of the trunk between insect infestation and chopping; Sample C3: The part of the same trunk induced by chopping

1.3 样品选择和制备 样品 C1 取虫蚀所致黄褐色的沉香样品,样品 C2 只选择砍伤和虫蚀共同影响的组织,C3 只选择砍伤附近的组织。分别精确称取各选择后晒干粉碎的样品 2 g,分别用 10 mL 乙醚在冰水浴下超声萃取 30 min,静置 5 min 后过滤得到乙醚提取液。重复提取 3 次,合并 3 次提取液,挥干后称重,计算得率(提取率 = 提取物质质量/样品质量 × 100%)。

1.4 沉香香气物质 GC-MS 分析 质谱条件: 电子轰击(EI)离子源; 电子能量 70 eV; 离子源温度 230 °C; 四极杆温度 150 °C; 接口温度 280 °C; 发射电流 34.6 μA; 倍增器电压 1 434 V; 质量扫描范围 20~550 m/z。对总离子流图中的各峰经质谱数据系统检索及核对 Nist2005 和 Wiley275 标准质谱图,并借鉴前人和本研究组前期的鉴定方法^[3],得出相应化合物。

色谱条件: 色谱柱为弹性石英毛细管柱 HP-5MS 5% Phenyl Methyl Siloxane(30 m×0.25 mm×0.25 μm); 升温程序: 柱温 50 °C,保持 2 min,以 5 °C·min⁻¹升温至 310 °C,保持 10 min; 汽化室温度 250 °C; 载气为高纯 He(99.999%); 载气流量 1.0 mL·min⁻¹; 不分流; 溶剂延迟时间: 3.0 min。

2 结果与分析

样品 C1,C2 和 C3 的乙醚萃取得率分别为 4.45%,4.34% 和 4.43%。采用 GC-MS 技术对这 3 个样品的乙醚萃取物进行分析,总离子流图见图 2。从图 2 可见,样品 C1,C2 和 C3 的色谱峰整体差别较大。样

品 C1 中检测到的色谱峰丰度较高,其次是样品 C2,C3 中色谱峰的丰度均较低。样品 C1 中,检测到保留时间在 35 ~ 50 min 的色谱峰较多、丰度较高,与其他 2 个样品的差异最大;样品 C2 中,保留时间在 4 ~ 10 min 处的色谱峰丰度很高;样品 C3 中检测到的色谱峰较多,但丰度不高。

样品总离子流通过质谱数据系统检索及核对 Nist2005 和 Wiley275 标准质谱图鉴定其中部分化合物,2-(2-苯乙基)色酮类化合物则是根据本课题组总结的质谱特征和裂解规律^[13]和标准品的质谱图鉴定而得,沉香中特征性的倍半萜类主要根据标准品质谱图进行鉴定,鉴定结果见表 1。3 批样品中鉴定的成分总相对百分含量分别为 65.56%、68.89% 和 62.19%,鉴定的成分包括脂肪酸类、酯类、酚类、烷烃类、甾体化合物、倍半萜和 2-(2-苯乙基)色酮类化合物。

3 个样品中的共有成分有 13 个:十二烯、十二醛、2,4-二叔丁基苯酚、2,3-二甲基-2-(3-甲基-2-丁烯基)-1-环己酮、硬脂酸甲酯、豆甾醇、 γ -谷甾醇、 β -桉叶油醇、瓦伦萨-1(10)、8-11-醇、7,9-二叔丁基-1-氧杂螺(4.5)葵-6,9-二烯-2,8-二酮、2-(2-苯乙基)色酮、6-甲氧基-2-(2-苯乙基)色酮、6,7-二甲氧基-2-(2-(4-甲氧基苯)乙基)色酮。除上述共有成分,C1 和 C2 共有成分还包括倍半萜(-)-7H-艾里莫芬-4,11-二醇和 11-羟基-瓦伦萨-1(10)-烯-2-酮,源植物白木香中的成分(Z)-9-烯十八酰胺和(24S)-豆甾-4-烯-3-酮;C2 和 C3 共有成分还包括羟基丙酸、1-十六碳烯、十六烷、十六烷酸甲酯、1,2-苯二甲酸丁基(2-甲基丙烷)酯,5 个成分均为源植物白木香中的成分。

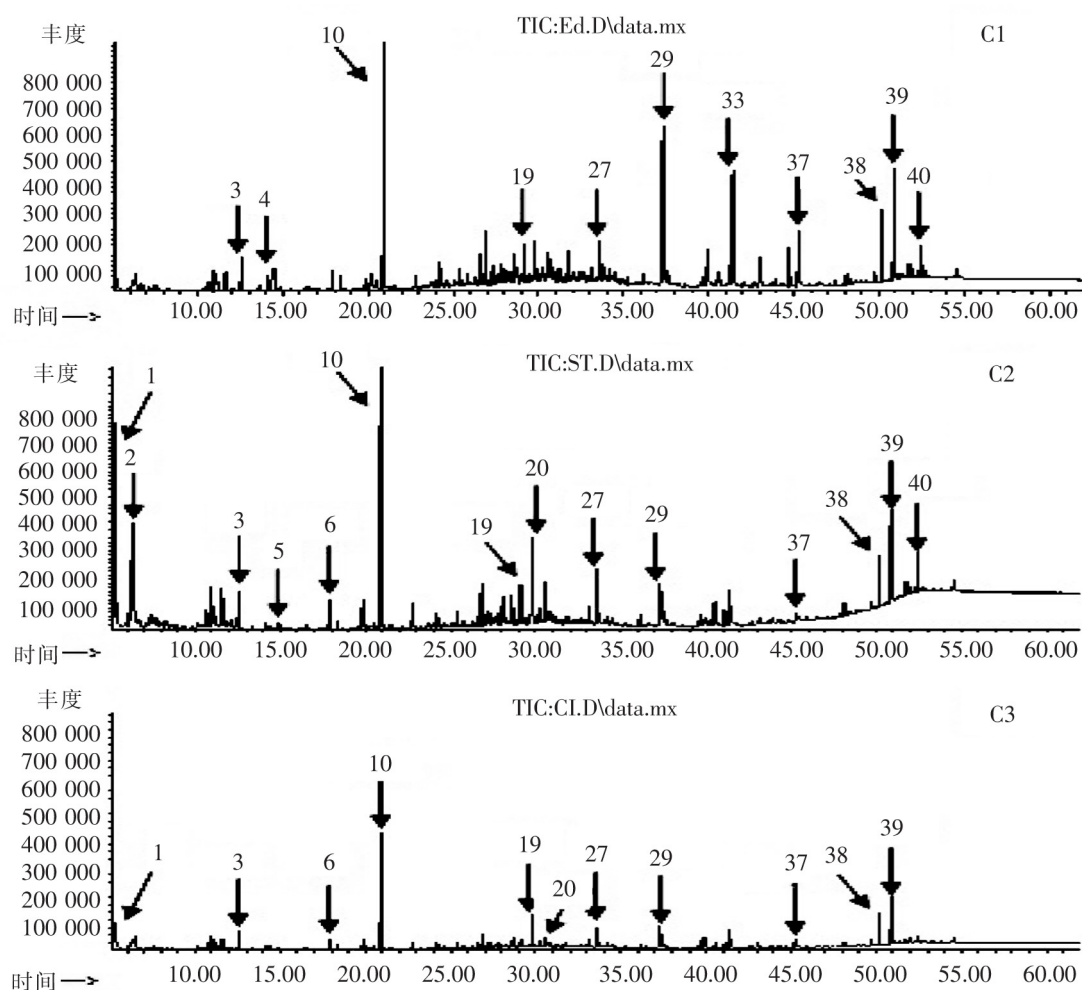


图 2 白木香样品的 GC-MS 总离子流图

Fig.2 The GC-MS total ion chromatogram of the samples

表 1 白木香样品的化学成分

Tab.1 Chemical constituents of the ether extracts of the samples

编号	R _t /min	化合物 Compound	分子式 Formula	相对分子 质量 Molecular Weight	相对含量 / % Relative Percentage content / %		
					C1	C2	C3
1	5.23	Propanoic acid 羟基丙酸	C ₃ H ₆ O ₂	74		15.07	9.78
2	6.27	3-Hydroxy-2-butanone 3-羟基-2-丁酮	C ₄ H ₈ O ₂	88		5.05	
3	12.61	1-Dodecene 十二烯	C ₁₂ H ₂₄	168	1.21	1.58	2.38
4	14.09	Benzylacetone 苄基丙酮	C ₁₀ H ₁₂ O	148	0.55		
5	14.94	Benzenepropanoic acid methyl ester 苯基丙酸甲酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	164		0.42	
6	17.89	1-Tetradecene 1-十六碳烯	C ₁₄ H ₂₈	196		1.24	1.31
7	18.35	Dodecanal 十二(烷)醛	C ₁₂ H ₂₄ O	184	0.44	0.39	0.67
8	19.93	4-epi-15-hydroxyacorenone 4-表-15-羟基菖蒲螺次酮△	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	236		0.43	
9	20.15	2,4-Di-tert-butylphenol 2,4-二叔丁基苯酚	C ₁₄ H ₂₂ O	206	0.83		
10	20.96	2,4-Bis(1,1-bimethylethyl) phenol 2,4-二(1,1-二甲基乙基)苯酚	C ₁₄ H ₂₂ O	206	9.33	9.83	14.17
11	22.74	1-Hexadecene 十六烷	C ₁₆ H ₃₂	224		0.95	0.70
12	24.23	β-Eudesmol β-桉叶油醇△	C ₁₅ H ₂₆ O	222	1.40	1.00	1.28
13	26.88	(-)-7βH-Eudesmane-4α,11-diol (-)-7βH-艾里莫芬-4α,11-二醇△	C ₁₅ H ₂₈ O ₂	240	1.88	1.9	
14	27.12	1-Octadecene 十八烷	C ₁₈ H ₃₆	252		0.44	
15	27.30	2,1-3-Dimethyl-2-(3-methyl-2-butenyl)-1-cyclohexanone 2,3-二甲基-2-(3-甲基-2-丁烯基)-1-环己酮△	C ₁₃ H ₂₂ O	194	0.64	0.75	0.67
16	28.14	Baimuxinal 白木香醛△	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	236		1.01	
17	28.63	Valencal(10),8-dien-11-ol 瓦伦萨-1(10),8-11-醇	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.96	1.73	1.07
18	29.15	ent-4(15)-eudesmen-11-ol-1-one ent-4(15)-艾里莫芬-11-醇-1-酮△	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	238	1.37		
19	29.76	7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione 7,9-二叔丁基-1-氧杂螺(4,5)葵-6,9-二烯-2,8-二酮△	C ₁₇ H ₂₄ O ₃	276	1.46	3.74	3.85
20	29.82	Hexadecanoic acid methyl ester 十六烷酸甲酯#	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270		2.38	2.08
21	29.84	14-Methyl-Pentadecanoic acid methyl ester 14-甲基-十五烷酸甲酯#	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	1.07		
22	30.19	3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxy-Benzenepropanoic acid methyl ester 3,5-双(1,1-二甲基乙基)-4-羟基苯基丙酸甲酯	C ₁₈ H ₂₈ O ₃	292		0.61	
23	30.56	1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-methylpropyl ester 1,2-苯二甲酸丁基(2-甲基丙烷)酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	278		1.76	1.76
24	30.58	α-Eudesmol α-桉叶油醇△	C ₁₅ H ₂₄ O	220	1.16		
25	31.77	11-Hydroxy-valencal(10)-en-2-one 11-羟基-瓦伦萨-1(10)-烯-2-酮△	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	236	1.55	0.38	
26	31.19	Selina-3,11-diene-12,15-dial 芹子-3,11-二烯-12,15-二醛△	C ₁₅ H ₂₀ O ₂	232		0.31	
27	33.60	Octadecanoic acid methyl ester 硬脂酸甲酯	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	298	1.28	2.00	2.17
28	34.25	Octadecanoic acid ethenyl ester 硬脂酸乙烯基酯	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	310	0.70		0.64
29	37.23	2-(2-Phenylethyl) chromone 2-(2-苯乙基)色酮	C ₁₇ H ₁₄ O ₂	250	7.56	1.67	2.77

续表 1 Continued Tab. 1								
编号	R _i /min	化合物 Compound	分子式 Formula	相对分子 质量 Molecular Weight	相对含量 / % Relative Percentage content / %			
					C1	C2	C3	
30	37.34	(Z) -9-Octadecenamide (Z) - 9 - 烯十八酰胺	C ₁₈ H ₃₅ NO	281	9.55	0.86		
31	39.93	Hexadecanoic acid 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl) ethyl ester 十六烷酸 2 - 羟基 - 1 - (羟甲基) 乙基酯	C ₁₉ H ₃₈ O ₄	330	1.76		1.66	
32	40.52	1,2-Benzenedicarboxylic acid bis(2-ethylhexyl) ester 1,2 - 苯羧基双(2 - 乙基) 酯	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	390		1.01		
33	41.43	6-Methoxy-2-(2-phenylethyl) chromone 6 - 甲氧基 - 2 - (2 - 苯乙基) 色酮*	C ₁₈ H ₁₆ O ₃	280	5.83	3.41	2.32	
34	41.49	2-(4-Methoxyphenethyl) chromen 2 - (4 - 甲氧基) 苯乙基色酮*	C ₁₈ H ₁₆ O ₃	280	1.54			
35	42.99	Octadecanoic acid 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl) ethyl ester 硬脂酸 2 - 羧基 - 1 - (羟甲基) 乙基酯	C ₂₁ H ₄₂ O ₄	358	1.18			
36	44.75	6-Methoxy-2-(2-(4-methoxyphenyl) ethyl) chromone 6 - 甲氧基 - 2 - (2 - (4 - 甲氧基) 苯乙基) 色酮	C ₁₉ H ₁₈ O ₄	310	1.52			
37	45.29	6,7-Dimethoxy-2-(2-phenylethyl) chromone 6,7 - 二甲氧基 2 - (2 - (4 - 甲氧基) 苯乙基) 色酮	C ₁₉ H ₁₈ O ₄	310	2.89	1.07	1.56	
38	50.20	Stigmasterol 豆甾醇	C ₂₉ H ₄₈ O	412	2.49	2.15	4.31	
39	50.92	γ-Sitosterol γ-谷甾醇	C ₂₉ H ₅₀ O	414	4.22	3.92	7.04	
40	52.514	(24S) -Stigmast-4-en-3-one (24S) - 豆甾 - 4 - 烯 - 3 - 酮	C ₂₉ H ₄₈ O	412	1.19	1.83		
总计 Total					65.56	68.89	62.19	
倍半萜 Sesquiterpenes					8.96	7.51	3.02	
色酮 Chromones					19.34	6.15	6.65	
倍半萜 + 色酮 Sesquiterpenes + chromones					28.30	13.66	9.67	

注: R_i 为保留时间; * : 2 - (2 - 苯乙基) 色酮类化合物; △: 倍半萜类化合物
Note: Rt: Retention time; * : 2 - (2-Phenylethyl) chromone derivatives; △: Sesquiterpenes

3 讨 论

沉香的形成受到沉香树的遗传特性和诱导因子两方面的共同影响,是内因和外因相互作用的结果。因此,比较不同诱导方法所致沉香的异同必须在沉香树的遗传特性一致的基础上。笔者在白木香树同一树干的 2 个相邻部位比较虫漏和砍伤法所致沉香的差异,保证了沉香树的遗传特性的一致,有利于对比分析不同诱导方式对沉香质量的影响。

GC-MS 分析结果表明,虫漏和砍伤所致的沉香主要化学成分类型一致,但有差异。3 个样品都检出脂肪酸、酯类和甾体及酚类化合物,这和样品中白木香的成分密切相关;而倍半萜和 2 - (2 - 苯乙基) 色酮类化合物为沉香的特征性香气物质,据报道,倍半萜和 2 - (2 - 苯乙基) 色酮类化合物的含量影响沉香的质量,含量越高,质量越好,包括 2 个因子: 萃取得率和相对含量。由于样品 C1、C2 和 C3 的乙醚萃取得率分别为 4.45% ,4.34% 和 4.43% ,差异很小,因此各个样品中被检出的倍半萜和 2 - (2 - 苯乙基) 色酮类化合物的相对含量越高,质量越好。倍半萜和 2 - (2 - 苯乙基) 色酮类化合物的相对含量之和在 3 份样品中分别为 28.30% ,13.66% 和 9.67% ,说明样品质量存在差异,依次为 C1 > C2 > C3。

此外,影响沉香质量的另外一个重要因子是 2 - (2 - 苯乙基) 色酮类化合物的种类和比例。奇楠沉香和越南红土沉香是目前一致认可的质量上乘的天然沉香,通过 GC-MS 技术分析发现,这些优质沉香的乙醚萃取物中的 2 - (2 - 苯乙基) 色酮类化合物的相对含量较高,其中,2 - (2 - 苯乙基) 色酮与 2 - (2 - 甲氧基) 色酮

基苯) 乙基] 色酮这 2 个化合物总和的相对含量之和达 51.57% ~ 84.71%, 这说明在天然优质沉香的化学成分中, 2-(2-苯乙基) 色酮与 2-[2-(4-甲氧基苯) 乙基] 色酮所占的比例较大^[4-14]。样品 C1 的 2-(2-苯乙基) 色酮类化合物有 5 个, 总相对含量为 19.34%, 包括 2-(2-苯乙基) 色酮、6-甲氧基-2-(2-苯乙基) 色酮、2-(4-甲氧基苯) 乙基色酮、6-甲氧基-2-[2-(4-甲氧基苯) 乙基] 色酮和 6,7-二甲氧基-2-[2-(4-甲氧基苯) 乙基] 色酮, 且 2-(2-苯乙基) 色酮和 2-[4-(4-甲氧基) 苯乙基] 色酮的相对含量之和为 9.10%; 而样品 C2 和 C3 的 2-(2-苯乙基) 色酮类化合物各有 3 个, 包括 2-(2-苯乙基) 色酮、6-甲氧基-2-(2-苯乙基) 色酮和 6,7-二甲氧基-2-[2-(4-甲氧基苯) 乙基] 色酮, 总相对含量分别为 6.15% 和 6.65%。从 2-(2-苯乙基) 色酮类化合物的种类和含量比较, 说明 C1 的质量最好。

样品 C1 和 C3 分别为白木香同一树干上相邻的两个部位分别由虫漏和砍伤所致沉香, 而样品 C2 为样品 C1 和样品 C3 之间的过渡区域, 这说明, 在 3 份样品中, 虫漏所产沉香的质量比砍伤所产的沉香好。这和古人认为虫漏沉香质量上乘的认知一致。

目前, 发展了多种人工结香技术, 有物理创伤法、化学结香法、人工接菌法以及综合法, 但至今未有虫漏结香技术的实用化报道。现已初步发现, 侵噬沉香树产生沉香的昆虫主要为天牛, 它喜食白木香木质组织, 每年炎热之季, 在白木香树杆上钻洞产卵, 孵化幼虫, 幼虫亦以白木香为食, 这过程中诱导白木香树形成沉香。天牛是森林中常见的昆虫, 在实验室中可人工饲养^[7-19], 利用天牛来帮助白木香结香在理论上有可能性, 而且人工费用低, 虫漏沉香为天然优质沉香, 在药用方面有广泛的应用, 因此探究虫漏结香的原理和发展虫漏结香技术具有一定的意义, 值得进一步去研究。

参考文献:

- [1] Naef R. The volatile and semi-volatile constituents of agarwood, the infected heartwood of *Aquilaria* species: a review [J]. *Flavour Fragr J.*, 2011, 26: 73-87.
- [2] 田耀华, 原慧芳, 倪书邦, 等. 沉香属植物研究进展 [J]. *热带亚热带作物学报*, 2009, 17(1): 98-104.
- [3] 戴好富, 梅文莉, 王军, 等. 沉香实用栽培和人工结香技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 86-87.
- [4] 广东省植物研究所. 初步揭开沉香结香的秘密 [J]. *植物学报*, 1976, 18(4): 287-291.
- [5] 张兴丽. 伤害诱导的白木香防御反应与沉香形成的关系研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [6] 黄俊卿, 魏建和, 张争, 等. 沉香结香方法的历史记载、现代研究及通体结香技术 [J]. *中国中药杂志*, 2013, 38(3): 302-306.
- [7] 陈晓颖, 高英, 李卫民. 不同结香方法与国产沉香挥发性化学成分的相关性研究 [J]. *中国药房*, 2012, 23(11): 1017-1020.
- [8] 梅文莉, 戴好富, 王辉, 等. 一种生产沉香的方法: 中国, ZL2013 1 0150138.5 [P]. 2013-04-26.
- [9] 梅文莉, 左文健, 戴好富, 等. 沉香结香机理、人工结香及其化学成分研究进展 [J]. *热带作物学报*, 2013, 34(12): 2513-2520.
- [10] 魏希望. 崖香十二状 [J]. *海南沉香*, 2014(4): 46-81.
- [11] Saikia P, Khan M L. *Aquilaria malaccensis* Lam., a Red-listed and highly exploited tree species in the Assamese home garden [J]. *Curr Sci.*, 2012, 102(4): 546.
- [12] 林峰, 梅文莉, 吴娇, 等. 人工结香法所产沉香挥发性成分的 GC-MS 分析 [J]. *中药材* 2010, 33(2): 222-225.
- [13] Mei W L, Yang D L, Wang H, et al. Characterization and determination of 2-(2-Phenylethyl) chromones in agarwood and by GC-MS [J]. *Molecules*, 2013, 18(10): 12324-12345.
- [14] 梅文莉, 杨德兰, 左文健, 等. 奇楠沉香中 2-(2-苯乙基) 色酮的 GC-MS 分析鉴定 [J]. *热带作物学报*, 2013, 34(9): 1819-1824.
- [15] 杨德兰, 梅文莉, 杨锦玲, 等. GC-MS 分析四种奇楠沉香中致香的倍半萜和 2-(2-苯乙基) 色酮类成分 [J]. *热带作物学报*, 2014, 35(6): 1235-1243.
- [16] 杨锦玲, 梅文莉, 董文化, 等. 3 种越南产沉香的 GC-MS 分析 [J]. *热带作物学报*, 2015, 36(8): 1498-1504.

- [7] 贺萍, 黄竞芳. 光肩星天牛的人工饲养 [J]. 北京林业大学学报, 1992, 14(2): 61–67.
- [8] 寻锋, 刘强. 槐绿虎天牛人工饲养的研究 [J]. 天津师范大学学报 (自然科学版), 2012, 32(4): 78–80.
- [9] 徐金华, 黄秀凤, 徐华潮, 等. 松墨天牛室内人工饲养及其生物学特性观察 [J]. 浙江林业科技, 2009, 29(4): 86–88.

GC-MS Analysis of the Agarwood Induced by Insects and Chopping

WANG Yuguang¹, WANG Jun^{1,2}, YANG Jinling^{1,2}, MEI Wenli^{1,2}, DAI Haofu^{1,2}

(1. Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Tropical Crops, Ministry of Agriculture / Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences; 2. Hainan Engineering Research Center of Agarwood, Haikou, Hainan 571101, China)

Abstract: The two adjacent parts of the tree of *Aquilaria sinensis* had been induced to produce agarwood due to insect infestation and chopping for two years, and the compounds of the agarwood induced were analyzed by using the GC-MS. The GC-MS analysis indicated that the chemical compositions of the agarwood by the two methods were similar, but also had some differences between them. The relative contents of sesquiterpenes and chromones of the agarwood induced by insects were higher than those of the agarwood by chopping. This result shows that the chemical composition of the agarwood is affected by both the genetic factors of the tree and the external factors. In the two agarwood samples tested the quality of the agarwood caused by insects is better than that of the agarwood by chopping.

Keywords: *Aquilaria sinensis*; insect infestation; chopping method; GC-MS analysis