

油松萜烯类挥发物释放规律与红脂大小蠹危害的关系

王鸿斌 张真 孔祥波

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所)

沈佐锐

(中国农业大学 IPMIST 实验室)

金幼菊

(北京林业大学生物中心)

摘要: 该研究以动态顶空采样法对油松叶部和树干基部分别进行活体采样, 并采用热脱附、气相色谱和质谱联用技术探讨近自然状态下的挥发物组分和含量变化以及红脂大小蠹危害对其的影响。通过对生长季 5—9 月山西省沁源县赤石桥乡红脂大小蠹的寄主植物油松的挥发物的采集分析, 明确了挥发物质的基本成分有 25 种。其中萜烯类成分占较高比重, 主要为 3 种成分 (S)-(+)-3-萜烯、(R)-(-)- α -蒎烯和 (S)-(-)- β -蒎烯, 占萜烯类总量 96% 以上。另外还含有少量的 (+) 柠檬烯、香叶烯、莰烯、对映-1, 4-二烯和水芹烯等成分。分别进行了健康油松、受虫害油松、不同胸径油松干部和叶部, 以及白天不同时间段的萜烯类成分的相对含量对比, 为红脂大小蠹引诱剂研制以及利用引诱剂控制提供了理论基础。

关键词: 红脂大小蠹, 油松, 萜烯, 挥发物

中图分类号: S791.254 文献标识码: A 文章编号: 1000-1522(2005)02-0075-06

WANG Hong-bin¹; ZHANG Zhen¹; KONG Xiang-bo¹; SHEN Zuo-rui²; JIN You-ju³. Relationship between release regularity of volatiles from *Pinus tabulaeformis* and the damage by *Dendroctonus valens*. *Journal of Beijing Forestry University* (2005) 27(2) 75-80 [Ch, 15 ref.]

¹ The Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, P. R. China;

² IPMIST Laboratory, Chinese Agricultural University, Beijing, 100094, P. R. China;

³ Biology Center, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

The volatiles of *Pinus tabulaeformis* were collected by the headspace absorption method and analyzed by thermal desorption combined with GC-MS from May to September in Qinyuan County, Shanxi Province. 25 compounds, mainly monoterpenes, which are the main components of the volatiles, have been identified. Among them, (R)-(-)- α -Pinene, (S)-(-)- β -Pinene, (S)-(+)-3-Carene are the three main compounds which account for over 96%, and a small amount of other monoterpenes, (+)-limonene, myrcene, camphene, phellandrene, etc. The relative content differences of the terpene volatiles have been compared between healthy and damaged trees, the trunk and needles, in different periods of diurnal hours and at different breast perimeters.

Key words *Dendroctonus valens*, *Pinus tabulaeformis*, terpene, volatile

红脂大小蠹 (*Dendroctonus valens* LeConte) 属鞘翅目 (Coleoptera) 小蠹科 (Scolytidae) 昆虫, 又名强大小蠹。红脂大小蠹原产于北美洲, 1998 年在我国山西省阳城、沁水首次被发现。属于我国新记录种。寄主主要为油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.), 危害树干的

基部和根部^[1]。国内外研究表明, 树体挥发性物质的组分可以提供小蠹虫有关树是否易于攻击的信息。寄主树的挥发性物质是对红脂大小蠹起到干扰选择与聚集的主要化学物质^[2]。雌雄红脂大小蠹都受到受伤树和病树分泌的树脂的吸引^[2-4], 并经常攻击那

收稿日期: 2004-02-27

http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目: “973” 国家重点基础发展规划项目 (2002CB111400)、国家先进农业技术引进项目 (2000-19(2))、“十五” 国家科技攻关项目 (2001BA509B0902)、“863” 国家高新技术项目 (2001AA249070)。

第一作者: 王鸿斌, 硕士。主要研究方向: 森林昆虫学。电话: 010-62889567 Email: wanghb@forestry.ac.cn 地址: 100091 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所。

些已经被其他小蠹虫攻击过的树干基部. 松树体内单萜类物质的浓度在干旱、根部真菌的感染、落叶的影响下发生改变^[5], 并且蠹虫的侵入也会引起寄主树单萜类物质的浓度及其释放速率的改变^[6]. 因此, 了解目前我国的寄主油松的挥发物自然状况及对蠹害侵入的反应是更好地利用其特性进行信息素监测控制的前提和基础.

目前植物挥发物的提取方法主要有溶剂提取法^[7]、蒸馏法^[8]、抽气吸附法^[9]、动态顶空采集法(dynamic headspace collection)^[10]和固相微萃取法(solid-phase microextraction, SPME)^[11]等. 前3种方法由于中间处理的环节较多, 易造成挥发物成分的破坏和丢失. 另外, 这些方法对植物会造成一定的机械损伤, 不能完全反映正常活体植株释放的挥发物的组分及其相对含量. 后两种方法不需要中间处理环节而是直接采样. 这样植物挥发物损失较少, 基本反映了植物材料释放的挥发物组分及其比例. 但SPME的萃取头价格比较高, 且需要在采集后及时分析, 目前还没有得到广泛的使用.

油松是我国特有树种, 有关其挥发物成分前人已经进行了不少研究, 但均是采用前3种方法进行采样的, 而且大部分都是针对叶部的采样^[12, 13]. 由于采样方法对植株的破坏和局限性, 不能够完全反映自然状态下的挥发性组分和相对含量, 也难以正确地分析红脂大小蠹对树干基部的趋性和危害后的挥发物的变化. 本研究以动态顶空采样法对叶部和树干基部分别活体采样, 探讨其自然状态下的挥发物组分和成分变化以及红脂大小蠹危害对其产生的影响.

1 研究方法

1.1 样品采集

于2002年在山西沁源赤石桥乡榆平村分别按健康(无侵入痕迹)、危害(具有新老侵入孔, 具备新鲜和往年流脂及粪便)标准选择固定的采样株各5株, 样株胸径20~30 cm(80%以上的受害木都在此胸径范围). 从5—9月(大小蠹成虫每年的活动期)每月中旬选择1 d 15:00—18:00进行基干部和叶部采样分析. 5—6月红脂大小蠹成虫的侵入高峰期从7:00起每3 h对干部采样一次, 一天内连续采样5次, 测定日变化. 7—8月选择同立地条件的不同胸径的健康木分三级, 每级5株进行干部测定分析.

采样用QC-1大气采集仪(北京劳动保护研究所生产), 采样管为美国Chrompack公司热脱附专用采样管, 管内吸附担体为迪玛公司的Tenax-GR. 树干和针叶枝条用聚乙烯薄膜包裹, 树干包裹处从树干

基部向上至0.5 m, 90%红脂大小蠹侵入孔在此部位. 针叶包裹从选取枝条顶端向树干延伸0.5 m. 用封口机将其薄膜密封, 两端用铁丝扎紧, 使树干内部成为一个密闭的环境. 将大气采集仪进出口两端的接管插入到聚乙烯薄膜的内部, 用脱脂棉密封插口. 先将包裹处的空气用大气采集仪排空, 再在进气管端加上吸附管, 管内装100 mg预处理后的Tenax-GR, 进行样品的采集. 抽气时间为30 min. 抽气流量为0.5 L/min. 采集后的管用Parafilm封闭吸附管两端, 置干燥冷藏处备用.

1.2 样品分析

在北京林业大学生物中心, 通过热脱附-低温捕集装置与气相色谱质谱联用, 对样品进行分析. 气相色谱质谱联用中气相色谱为CE INSTRUMENT公司的TRACE™ 2000, 质谱为FINNIGAN公司的VOYAGER Mass Spectrometer. 热脱附仪采用CHROMPACK公司的CP-4010 PTI/TCT. TCT操作条件为: 载气压力20 kPa, 进样口温度250℃, 冷阱温度-120℃, 热脱附温度250℃(10 min), 进样时冷阱温度260℃(1 min). GC分析条件为: 色谱柱CP-Sil8 Low Bleed/MS(60 m×0.25 mm×0.25 μm), 分流方式1:6.75, 载气压力: 20 kPa, 初始温度40℃(保持3 min), 以6℃/min程序升温至250℃(保持3 min). MS工作条件为: EI源, 电子能量70 eV, 质量范围29~350 u, 扫描速度0.4 s/scan, GC/MS接口温度250℃, 离子源温度200℃, 灯丝电流150 μA.

1.3 数据分析

根据气相色谱-质谱图的NIST谱库检索, 对照标准样品的保留时间, 对自然状态下挥发性气体的主要成分进行结构鉴定; 根据相对峰面积对油松挥发性成分的年度变化和日变化情况进行定量分析(包括各种成分的有无、含量的百分比率等); 比较不同胸径油松挥发物的组成和含量的影响, 最后比较分析红脂大小蠹的侵入和存在对挥发物组成和含量的影响.

2 结果与分析

2.1 油松挥发物的基本成分

经过对10株固定标准株和15株临时采样株的5—9月干部和叶部采样分析, 山西沁源油松自然状态下挥发性物质主要成分见表1、图1.

2.2 油松挥发性萜烯类组分和相对含量

由于萜烯类成分在对小蠹虫的行为和集聚行为中起到很重要的作用, 因此对其中8个主要成分进行了其萜烯类成分相对百分含量的分析, 表2为健康树干部5—9月份8个主要成分的相对百分含量.

表1 油松挥发物基本成分和保留时间

TABLE 1 Components and residual time of volatiles of *Pinus tabulaeformis* in natural conditions

| 物质名称 | 平均保留时间/min | 物质名称 | 平均保留时间/min | 物质名称 | 平均保留时间/min |
|-------|------------|-----------------------|------------|----------|------------|
| 乙醇 | 4.17 | 对二甲苯 | 11.80 | 甲基, 异丙基苯 | 16.72 |
| 二氯甲烷 | 4.60 | 邻二甲苯 | 12.53 | (+)-柠檬烯 | 16.87 |
| 正己烷 | 5.16 | (R)-(-)- α -蒎烯 | 13.96 | 水芹烯 | 16.96 |
| 氯仿 | 5.56 | 蒎烯 | 14.41 | 对-1,4-二烯 | 17.68 |
| 二氯乙烷 | 6.03 | (S)-(-)- β -蒎烯 | 15.39 | 萜烯 | 18.56 |
| 甲氧基乙醚 | 6.14 | 香叶烯 | 15.49 | 樟脑 | 20.53 |
| 乙缩醛 | 7.52 | 癸烷 | 15.82 | 松油醇 | 21.38 |
| 甲苯 | 8.65 | (S)-(+)-3-萜烯 | 16.29 | | |
| 乙苯 | 11.50 | 对-1,3-二烯 | 16.47 | | |

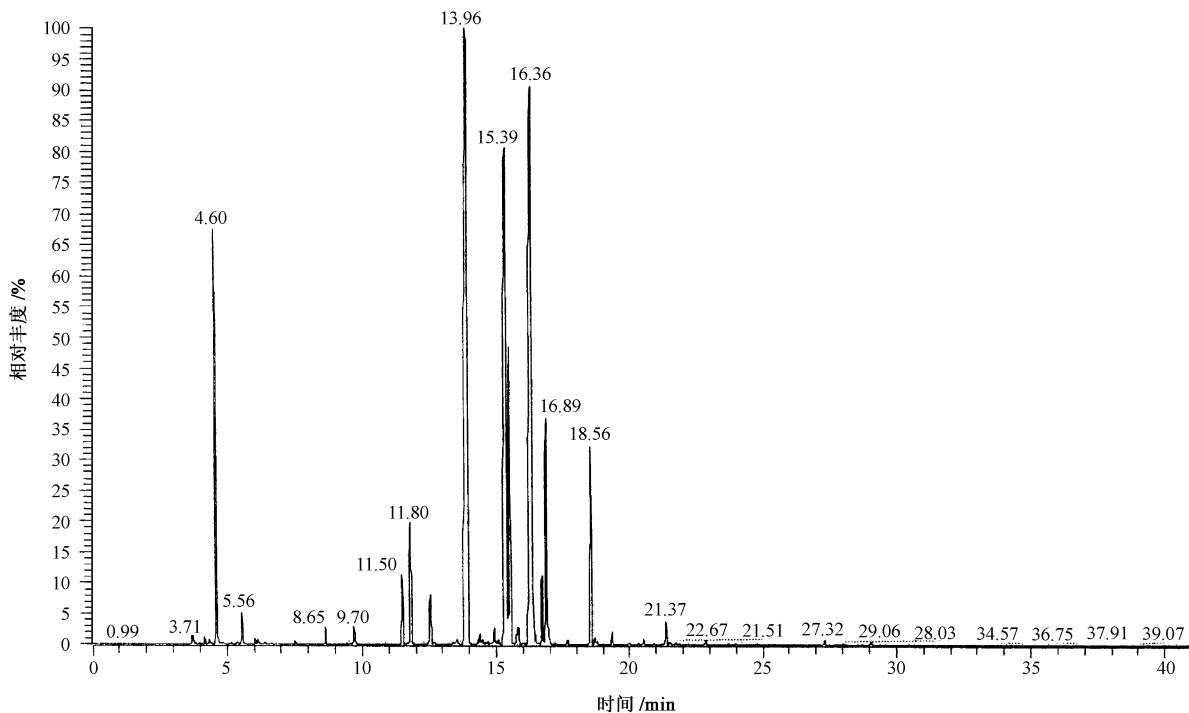


图1 油松树体挥发性物质的总离子流图

FIGURE 1 TIC-trace of volatiles of *Pinus tabulaeformis*

表2 健康油松干部萜烯类相对含量月变化

%

TABLE 2 Monthly changes of relative content of monoterpenes in the healthy trunks

| | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
|-----------------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| (R)-(-)- α -蒎烯 | 29.67±3.87 | 29.37±8.11 | 29.46±2.48 | 41.10±0.97 | 34.57±6.03 |
| 蒎烯 | 0.14±0.09 | 0.19±0.05 | 0.12±0.10 | 0.21±0.08 | 0.85±1.33 |
| (S)-(-)- β -蒎烯 | 28.21±2.73 | 24.64±4.17 | 26.98±2.32 | 31.97±0.27 | 26.34±2.83 |
| 香叶烯 | 0.78±3.37 | 0.78±0.32 | 0.30±0.23 | 0.21±0.14 | 0.34±0.13 |
| (S)-(+)-3-萜烯 | 40.56±7.09 | 42.95±11.33 | 42.52±1.72 | 25.47±0.87 | 34.04±5.66 |
| 对-1,4-二烯 | 0.06±0.07 | 0.01±0.01 | 0.02±0.02 | 0.07±0.01 | 0.12±0.04 |
| (+)-柠檬烯 | 0.50±2.47 | 1.94±0.56 | 0.53±0.42 | 0.93±0.33 | 3.54±0.71 |
| 水芹烯 | 0.07±0.06 | 0.12±0.06 | 0.05±0.04 | 0.05±0.03 | 0.22±0.09 |

由表2可看出,5-9月份,3种主要萜烯类成分(R)-(-)- α -蒎烯、(S)-(-)- β -蒎烯、(S)-(+)-3-萜烯总计均占萜烯类挥发物成分的96%以上。而(S)-(+)-3-萜烯成分在5-7月间相对含量又明显高于另外两种成分,占40%以上,分别为

40.56%、42.95%、42.52%;(R)-(-)- α -蒎烯、(S)-(-)- β -蒎烯含量均在30%以下,差异显著。但在8月份(S)-(+)-3-萜烯含量又明显低于另两种成分,仅占25.47%。9月份三者基本保持平衡,仅(S)-(-)- β -蒎烯稍低。含量较低的其他萜烯类,香叶烯

在5—6月相对明显高于7—9月,而9月份(+)-柠檬烯的相对含量达到最高3.54%,其他成分含量则没有显著性差异。

2.3 油松挥发性萜烯类物质的浓度和含量日变化

每天由于早晚和午间气温与光照的显著差异,挥发物质的挥发受到一定的影响,在13:00之后达

到最高,而在早间和夜间则相对较低^[14]。在早晚和午间温度变化较大的7月份进行了日间萜烯类相对含量的比较分析,表3、表4分别是健康树干和受害树干萜烯类相对含量在日间从7:00每隔3h取样分析的结果。

表3 健康油松树干主要萜烯类相对含量的日间变化

TABLE 3 Diurnal variation of the monoterpenes from the healthy trunks in July

| | 7:00 | 10:00 | 13:00 | 16:00 | 19:00 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| (R)-(-)- α -蒎烯 | 28.06±1.03 | 29.95±1.31 | 27.18±2.64 | 32.87±0.32 | 28.43±1.98 |
| 蒎烯 | 0 | 0.05±0.01 | 0.07±0.06 | 0.12±0.09 | 0.17±0.06 |
| (S)-(-)- β -蒎烯 | 28.42±0.55 | 28.53±0.13 | 26.18±2.20 | 25.33±2.33 | 27.79±0.80 |
| 香叶烯 | 0.07±0.07 | 0.22±0.05 | 0.30±0.01 | 0.45±0.24 | 0.22±0.01 |
| (S)-(+)-3-萜烯 | 43.28±0.53 | 40.91±1.33 | 45.78±4.99 | 40.42±1.11 | 42.8±2.50 |
| 对-1,4-二烯 | 0 | 0.03±0.00 | 0.02±0.01 | 0.04±0.01 | 0.01±0.01 |
| (+)-柠檬烯 | 0.15±0.01 | 0.28±0.12 | 0.39±0.06 | 0.69±0.44 | 0.53±0.21 |
| 水芹烯 | 0.02±0.01 | 0.04±0.00 | 0.08±0.01 | 0.07±0.02 | 0.05±0.00 |

表4 受害油松树干萜烯类相对含量的日间变化

TABLE 4 Diurnal variation of the monoterpenes from damaged trunks in July

| | 7:00 | 10:00 | 13:00 | 16:00 | 19:00 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| (R)-(-)- α -蒎烯 | 28.98±0.36 | 30.77±1.85 | 28.85±0.08 | 31.76±3.15 | 31.27±0.91 |
| 蒎烯 | 0.05±0.03 | 0.01±0.01 | 0.03±0.01 | 0.03±0.02 | 0.01±0.01 |
| (S)-(-)- β -蒎烯 | 29.01±1.18 | 29.56±0.10 | 29.20±0.07 | 27.31±1.57 | 24.98±5.14 |
| 香叶烯 | 0.07±0.04 | 0.11±0.10 | 0.16±0.05 | 0.09±0.08 | 0.12±0.12 |
| (S)-(+)-3-萜烯 | 41.54±1.72 | 39.44±1.53 | 41.56±0.16 | 40.70±1.76 | 43.23±3.82 |
| 对-1,4-二烯 | 0.02±0.00 | 0 | 0.01±0.00 | 0 | 0 |
| (+)-柠檬烯 | 0.29±0.17 | 0.10±0.09 | 0.18±0.05 | 0.11±0.06 | 0.32±0.24 |
| 水芹烯 | 0.04±0.02 | 0.01±0.00 | 0.02±0.01 | 0.01±0.00 | 0.06±0.05 |

健康和受害油松的数据分析表明,各萜烯类组分的相对百分含量在各个时间段没有显著性的差异($P=0.05$),即在日间的挥发物虽然绝对含量有变化,但其相对比例基本没有差别。

2.4 油松树干、树叶挥发性萜烯类组分和含量对比

红脂大小蠹作为蛀干害虫,其寄主植物所散发的挥发性物质,究竟来自叶部还是干部,二者是否有明显差别,还不清楚。为此,进行了干部和针叶部挥发物的采集和比较。表5是2002年5、6月份针叶和树干部健康木和受害木的萜烯类相对含量。

表5 油松树干和针叶中萜烯类相对含量对比

TABLE 5 Relative content variation of monoterpenes from the trunk and needles of *Pinus tabulaeformis*

| | 5月 | | | | 6月 | | | |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 受害 | | 健康 | | 受害 | | 健康 | |
| | 针叶 | 基干 | 针叶 | 基干 | 针叶 | 基干 | 针叶 | 基干 |
| (R)-(-)- α -蒎烯 | 27.00±2.04 | 34.23±5.51 | 25.88±4.73 | 29.67±3.87 | 27.97±7.44 | 27.96±8.75 | 36.26±8.11 | 29.37±8.11 |
| 蒎烯 | 0.15±0.02 | 0.22±0.10 | 0.13±0.06 | 0.14±0.09 | 0.14±0.08 | 0.11±0.09 | 0.16±0.13 | 0.19±0.05 |
| (S)-(-)- β -蒎烯 | 26.68±1.43 | 26.79±3.01 | 24.88±2.22 | 28.21±2.73 | 24.53±3.78 | 23.73±4.90 | 27.39±4.07 | 24.64±4.17 |
| 香叶烯 | 1.03±0.23 | 0.80±0.52 | 0.83±0.36 | 0.78±3.37 | 0.82±0.35 | 0.78±0.43 | 0.40±0.59 | 0.78±0.32 |
| (S)-(+)-3-萜烯 | 44.44±3.17 | 36.49±5.93 | 47.73±6.73 | 40.56±7.09 | 44.24±10.12 | 45.26±12.21 | 34.28±10.21 | 42.95±11.33 |
| 对-1,4-二烯 | 0.09±0.03 | 0.07±0.02 | 0.07±0.03 | 0.06±0.07 | 0.04±0.03 | 0.04±0.03 | 0.05±0.21 | 0.01±0.01 |
| (+)-柠檬烯 | 0.53±0.13 | 1.35±1.89 | 0.43±0.10 | 0.50±2.47 | 2.11±0.77 | 2.06±1.06 | 1.35±0.98 | 1.94±0.56 |
| 水芹烯 | 0.08±0.02 | 0.06±0.02 | 0.04±0.02 | 0.07±0.06 | 0.15±0.07 | 0.07±0.06 | 0.11±0.11 | 0.12±0.06 |

从健康和受害油松5、6月份的数据分析结果看,针叶和干部的挥发物萜烯类成分的相对含量没有显著性差异。

2.5 不同胸径油松挥发物萜烯类组分和含量对比

红脂大小蠹主要危害胸径20 cm以上的油松。为了明确作为较小和低龄的油松挥发物成分中是否

含有趋避成分,或者挥发物比例与成熟的油松有明显的不同,进行了3个不同级别(胸径处周长小于

30 cm、30~60 cm、大于60 cm)的采样分析.表6是其萜烯类成分的相对含量比较.

表6 不同胸径油松干部挥发性萜烯类的相对含量

%

TABLE 6 Relative content variation of monoterpenes from the trunks in different perimeters

| 胸径处周长/cm | <30 | 30~60 | >60 |
|-----------------------|------------|------------|------------|
| (R)-(-)- α -蒎烯 | 54.12±5.76 | 43.01±4.93 | 41.10±0.30 |
| 蒎烯 | 0.44±0.08 | 0.33±0.16 | 0.20±0.08 |
| (S)-(-)- β -蒎烯 | 21.06±5.84 | 24.29±7.13 | 31.97±2.32 |
| 香叶烯 | 0.33±0.06 | 0.37±0.19 | 0.21±0.04 |
| (S)-(+)-3-萜烯 | 23.25±7.38 | 26.94±8.37 | 25.47±1.99 |
| 对-1,4-二烯 | 0.06±0.03 | 0.07±0.07 | 0.07±0.01 |
| (+)-柠檬烯 | 0.72±0.19 | 4.82±6.70 | 0.93±0.04 |
| 水芹烯 | 0.02±0.01 | 0.17±0.19 | 0.05±0.04 |

从表6中可明显看出,胸径较小的油松其萜烯类挥发物成分中(R)-(-)- α -蒎烯、蒎烯含量相对较高,而(S)-(-)- β -蒎烯含量则较低,(S)-(+)-3-萜烯、对-1,4-二烯趋于平衡;在胸径周长大于60 cm的树干中,其香叶烯含量相对较低,而(+)-柠檬烯、水芹烯的含量在胸径处周长30~60 cm之间相对含量较高,95%置信水平上差异显著.

2.6 受害油松与健康油松挥发物萜烯类含量对比

小蠹类害虫常常有聚集危害的特点,很多种类

在侵入成功以后,刺激寄主植物或者自身利用寄主植物化合物产生释放出大量聚集的化学信息,使更多的同类侵入,很快造成寄主的严重危害乃至死亡.红脂大小蠹有着明显的聚集特性,在受害木的基干部和根部常常发现大量的侵入孔,但一直都没有发现其聚集作用的主要化学信息作用因子.为此进行了受害的油松和健康油松挥发物成分的对比,试图揭示其聚集的原因和机制.表7是受害油松5—9月的萜烯类挥发物成分相对含量比较.

表7 受害油松干部萜烯类相对含量的月变化

%

TABLE 7 Monthly changes of relative content of monoterpenes from the damaged trunks

| | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
|-----------------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| (R)-(-)- α -蒎烯 | 34.23±5.51 | 27.96±8.75 | 26.76±4.28 | 39.01±4.61 | 34.89±4.10 |
| 蒎烯 | 0.22±0.10 | 0.11±0.09 | 0.02±0.04 | 0.23±0.15 | 0.19±0.12 |
| (S)-(-)- β -蒎烯 | 26.79±3.01 | 23.73±4.90 | 25.95±3.69 | 30.09±1.60 | 28.74±1.83 |
| 香叶烯 | 0.80±0.52 | 0.78±0.43 | 0.11±0.13 | 0.18±0.15 | 0.64±0.39 |
| (S)-(+)-3-萜烯 | 36.49±5.93 | 45.26±12.21 | 46.77±8.06 | 29.05±4.32 | 33.33±4.71 |
| 对-1,4-二烯 | 0.07±0.02 | 0.04±0.03 | 0.04±0.07 | 0.09±0.09 | 0.03±0.03 |
| (+)-柠檬烯 | 1.35±1.89 | 2.06±1.06 | 0.27±0.15 | 1.24±0.76 | 2.05±1.11 |
| 水芹烯 | 0.06±0.02 | 0.07±0.06 | 0.07±0.07 | 0.1±0.09 | 0.13±0.08 |

根据表7和表2可看出,6—9月受害木与健康木的几种主要萜烯类的成分相对含量趋势一致,没有显著性差异;而在5月份,即红脂大小蠹出现侵入的高峰期,其相对含量有显著差异,在受害木中(S)-(+)-3-萜烯比例显著降低,而(+)-柠檬烯、(R)-(-)- α -蒎烯则相对偏高,其他成分比例则相对变化不大($P=0.05$).

3 结论与讨论

1)油松萜烯类挥发性成分的相对含量在叶和干之间没有明显的差异,无论是健康木和受害木,同时采样的干部和叶部的萜烯类挥发成分的比例基本保持一致.不同径级的树干和不同的季节成分和结构有所差异,而林木受害后其挥发性成分有所差别,尤其在5月份红脂大小蠹的侵入季节,其萜烯类含量在受

害木和健康木之间差异较大.在一天内的不同时间段,其挥发性成分的相对比例并没有明显变化.

2)采用顶空采集及分析法,较采用精油蒸馏法^[12,13]得到的挥发物成分和相对比例有显著不同.一是挥发性成分的减少,后两者分析都得到44种成分,而作者仅获得25种成分.由于顶空采集是在植物挥发物挥发出来后再行采集,比人为的蒸馏挥发更能反应植物实际挥发的成分,虽然数量少,但反而更有利于对害虫主要引诱剂成分的分析,排除了更多不必要的干扰,更容易找到引诱剂的有效成分.二是挥发性成分的比例也有明显差异.其中尤为明显的是(S)-(+)-3-萜烯成分,在分析中比例相当高,而在精油分析中却非常低,而它被证明是引诱红脂大小蠹非常有效的成分,这也充分展示了顶空分析的优点.但由于是不同地域的油松种群,也可能本身

具有地域挥发性物质的差异,具体是方法学的影响大,还是不同地域种差别大,还需要进一步试验研究证实.

3) 我国目前在野外应用监测红脂大小蠹引诱芯是根据国外红脂大小蠹的引诱成分(加拿大 Phertech 公司提供),基本按油松挥发物 3 种主要萜烯类成分按 1:1:1 进行配方,能够在诱捕器中得到一定数量的成虫,但与单组分的诱捕结果比较并无明显的差异,甚至还不如单一以(S)-(+) -3-萜烯诱捕的数量^[15].因此其是否是最佳配方,还需根据油松自然挥发物的分析结果进一步结合室内触角电位试验和室内外生物测定判定分析.

4) 由于 TCT 定量技术的局限性,没有能够分析绝对含量即物质浓度的差异,很多样品从气相结果看虽然相对比例一致,但并不能说明样品在挥发浓度上的区别,这对于红脂大小蠹的引诱剂配方释放浓度的设计非常重要,还需要进行实际的红脂大小蠹生物学测定解决.

参 考 文 献

- [1] 殷惠芬. 强大小蠹的简要的形态学特征和生物学特征[J]. 动物分类学报, 2000, 25(1): 42-43.
YIN H F. The synopsis on morphological and biological characters of *Dendroctonus valens* LeConte [J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2000, 25(1): 42-43.
- [2] VITE J P, GARA R I. Volatile attractants from ponderosa pine attacked by bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) [J]. *Contrib Boyce Thompson Inst*, 1962, 21: 251-274.
- [3] OWEN D R. The role of *Dendroctonus valens* and its vectored fungi in the mortality of ponderosa pine [D]. Berkeley: University of California, 1985.
- [4] BORDEN J H. Aggregation pheromones [M]// GILBERT L I. *Comprehensive insect physiology biochemistry and pharmacology*. Oxford: Pergamon Press, 1985: 257-285.
- [5] KLEPAIG K D, SMALLEY E B, RAFFA K F. *Dendroctonus valens* and *Hylastes porculus* (Coleoptera: Scolytidae): vectors of pathogenic fungi (Ophiostomatales) associated with red pine decline disease [J]. *Great Lakes Entomologist*, 1995, 28(1): 81-87.
- [6] RAFFA K F, SMALLEY E B. Host resistance to invasion by lower stem and root infesting insects of pine: response to controlled inoculations with the fungal associate *Leptographium terebrantis* [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1988, 18(6): 675-681.
- [7] 赵成华, 伍德明, 阎云花, 等. 马尾松针叶挥发性成分的鉴定及其对马尾松毛虫的触角电位反应. 林业科学, 1995, 31(2): 125-131.
ZHAO C H, WU D M, YAN Y H, et al. Analysis of Masson pine needle volatiles and their electroantennogram activity with Masson pine [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1995, 31(2): 125-131.
- [8] BESTMAN H J, CLASSEN B, KOBOLD U, et al. Steam volatile constituents from leaves of *Rhus typhina* [J]. *Phytochem*, 1988, 27(1): 85-90.
- [9] GRIES G, PIERCE H D, LINDGREN B S, et al. New techniques for capturing and analyzing semiochemicals for scolytid beetles (Coleoptera: Scolytidae) [J]. *J Econ Entomol*, 1988, 81(6): 1715-1720.
- [10] BOLTER C J, DICKE M, van LOON J J A, et al. Attraction of Colorado potato beetle to herbivore-damaged plants during herbivory and after irs termination [J]. *J Chem Ecol*, 1997, 23(4): 1003-1023.
- [11] BARTELT R J. Calibration of a commercial solid-phase microextraction device for measuring headspace concentrations of organic volatiles [J]. *Anal Chem*, 1997, 69: 364-372.
- [12] 金幼菊, 吴京科, 孙福, 等. 油松针叶精油萜烯组成的研究(I)——油松针叶的萜烯组成及其与其它两针松的比较 [J]. 北京林业大学学报, 1994, 16(3): 38-47.
JIN Y J, WU J K, SUN F, et al. Terpene composition of needle oil from *Pinus tabulaeformis* and the comparison with other two-needle pines [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1994, 16(3): 38-47.
- [13] 侯冬岩, 张维华, 回瑞华. 松属植物挥发性成分分析——辽宁不同地区的油松松针挥发油成分的研究 [J]. 鞍山师范学院学报, 1999, 1(3): 78-84.
HOU D Y, ZHANG W H, HUI R H. Analysis of the volatile oil constituents of *Pinus*—analysis of the volatile constituents of *Pinus tabulaeformis* Carr. pine needles with Liaoning different districts [J]. *Journal of Anshan Teachers College*, 1999, 1(3): 78-84.
- [14] 李金龙, 白郁华, 胡建信, 等. 油松排放萜烯类化合物浓度的日变化及排放速率的研究 [J]. 中国环境科学, 1994, 14(3): 165-169.
LI J L, BAI Y H, HU J X, et al. Diurnal variation in the concentration of terpenes and its emission rate measurements from oil pine [J]. *China Environmental Science*, 1994, 14(3): 165-169.
- [15] SUN J, MIAO Z, ZHANG Z, et al. Red turpentine beetle, *Dendroctonus valens* LeConte (Coleoptera: Scolytidae), response to host semiochemicals in China [J]. *Environmental Entomology*, 2004, 33(2): 206-212.

(责任编辑 董晓燕)