

# 鹫峰国家森林公园大气中 VOCs 的组成与特点\*

李美娟<sup>1</sup> 周晓晶<sup>2</sup> 韩烈保<sup>1\*</sup> 陈华君<sup>2</sup> 金幼菊<sup>2</sup> 曾会明<sup>1</sup>

(1 北京林业大学草坪研究所, 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室;

2 北京林业大学生物中心, 北京, 100083)

**摘 要** 采用 TCT-GC/MS 方法对鹫峰国家森林公园大气中挥发性有机物 (VOCs) 的组成进行分析, 共检测到 175 种挥发性有机化合物, 主要成分包括烷烃类、芳香烃类、酯类、酸类、醛类、酮类和萜烯类等七类, 平均相对含量分别为 48.11%, 15.67%, 17.28%, 3.13%, 3.17%, 1.36% 和 1.45%; 活动区中检测到的挥发性有机化合物种类最多, 缓冲区次之, 非活动区最少, 这与每个区中人类活动的频率相一致. 同时分析了大气中的 VOCs 的时空分布特点.

**关键词** 鹫峰, 挥发性有机物.

目前, 对挥发性有机物 (VOCs) 的研究已成为化学生态学研究的热点之一. 李金龙等<sup>[1]</sup>、白郁华等<sup>[2]</sup>、赵美萍等<sup>[3]</sup> 分别对油松排放萜烯类化合物、杨树排放碳氢化合物的情况进行了调查研究; 白建辉<sup>[3-6]</sup> 在广东省肇庆鼎湖山自然保护区对我国亚热带森林地区森林排放的异戊二烯和非甲烷碳氢化合物 (NMHC) 进行了研究; 并对我国内蒙古草原生态系统和西双版纳热带森林 VOCs 的排放进行了首次测量.

本文对鹫峰国家森林公园大气中 VOCs 的组成与特点进行分析.

## 1 样品的采集和分析

依据文献<sup>[8]</sup>对风景区的划分, 将鹫峰国家森林公园划分为三个区, 见表 1.

表 1 采样区简介

Table 1 Introduce of sampling areas

采样区	区域具体情况介绍
活动区	鹫峰山脚, 包括饭店、停车场、公厕、商店、居民住宅区、主要交通要道以及正在装修的秀峰寺, 是登山的必经之地, 使用频率最高; 主要木本植物种类有油松、侧柏、栎树、圆柏、刺槐、碧桃、荆条、酸枣等.
缓冲区	选择有人活动的鹫峰山腰, 内有几个景点, 使用频率介于活动区和非活动区之间; 主要木本植物有油松、侧柏、栎树、刺槐、榭栎、山桃、荆条、酸枣等.
非活动区	峰顶之下的将军台、消债寺附近, 此区域人为干扰较少; 主要木本植物种类有油松、侧柏、栎树、构树、山桃、荆条等.

于 2004 年 12 月至 2005 年 11 月按冬季 (12—2 月)、春季 (3—5 月)、夏季 (6—8 月)、秋季 (9—11 月) 四个季节采样, 取样方法为开放式动态顶空采集法.

采用热脱附仪和气相色谱-质谱联用仪 (TCT-GC/MS) 测定环境空气中挥发性有机污染物, 方法灵敏度高, 重复性好, 适合环境空气中多种低浓度挥发性有机物的监测分析.

TCT 的主要条件: 系统压力: 20kPa 杆温度: 250°C (10min), 冷阱温度: 260°C. GC 的工作条件: 色谱柱: DB-5 Low Bleed MS 柱 (60m × 0.32mm × 0.5μm), 通过液氮脱附进样, He 载气. 程序升温: 40°C (3min) → 6°C · min<sup>-1</sup> → 270°C (5min) → 280°C (5min); MS 的工作条件: 电离方式: EI 离子能: 70eV; 质量范围: 29—350 amu, 接口温度: 250°C, 离子源温度: 200°C, 发射电流: 150μA, 全

2006 年 5 月 18 日收稿.

\* 北京市教育重点基金 (GJSYS100220402), 教育部新世纪优秀人才支持计划, 北京林业大学研究生自选课题基金资助.

\*\* 通讯作者, 电话: 010-62337982, 传真: 010-62322089, Email: hanll@tm.cn

扫描, 每次扫描所用时间 0.4s, 质谱扫描范围:  $m/z$  19—435.

通过面积归一化法以各类挥发性有机物的相对含量定量.

## 2 不同采样区空气中 VOCs 种类分析

在活动区、缓冲区和非活动区的环境空气中分别检测出 160 种、147 种和 126 种 VOCs, 大致可分为七类 (见图 1): 烷烃类多为低分子碳氢化合物和饱和烷烃, 碳数分布范围比较广泛, 从  $C_3$  至  $C_{22}$ ; 芳香烃类主要以苯系物为主, 如苯、甲苯、乙苯、二甲苯、甲乙苯、三甲苯等; 酯类物质主要有乙酸乙酯、乙酸丁酯、苯甲酸丁酯、丁内酯等; 酸类以乙酸、戊酸、辛酸等饱和酸为主; 醛类物质主要是  $C_7$  至  $C_{13}$  的饱和醛; 酮类包括苯甲酮、苯乙酮、2,5-己二酮、1-羟基-2-丙酮等; 萜烯类主要是  $\beta$ -蒎烯、1R- $\alpha$ -蒎烯、 $\alpha$ -蒎烯、柠檬烯等, 其中烷烃类、芳香烃类和酯类所占的比例最大, 其平均相对含量在活动区中分别达到了 41.22%, 20.83% 和 15.37%, 在缓冲区中分别为 51.81%, 10.93% 和 19.56%, 而在非活动区则为 51.30%, 15.26% 和 16.90%, 醛类、酮类等含氧有机化合物也占较大的比例. 活动区环境空气中挥发性有机化合物种类多的原因之一是该区活动频率最高; 而且活动区中正在进行房屋装修, 苯及其苯系物的种类较之缓冲区和非活动区要多, 相对含量也要比另外两个区的稍高.

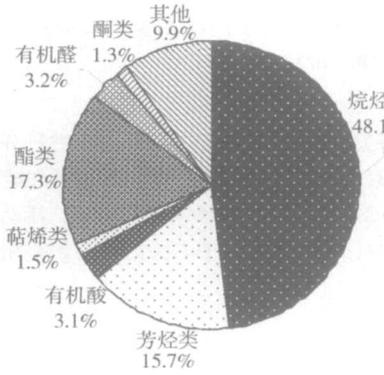


图 1 VOCs 各组分所占比例

Fig 1 Proportions of all types of VOCs

51.30%, 15.26% 和 16.90%, 醛类、酮类等含氧有机化合物也占较大的比例. 活动区环境空气中挥发性有机化合物种类多的原因之一是该区活动频率最高; 而且活动区中正在进行房屋装修, 苯及其苯系物的种类较之缓冲区和非活动区要多, 相对含量也要比另外两个区的稍高.

## 3 各个采样区环境空气中 VOCs 随季节的变化

如图 2 所示, 烷烃类在活动区的相对含量最低, 并且随着季节而变化, 即冬季最高, 春、秋两季次之, 夏季最低. 因为冬季植物 VOCs 的种类与含量大幅度减少, 使得空气中的烷烃类成为最主要的成分; 而夏季植物生长最旺盛, 植物释放的 VOCs 种类与含量大幅度增加, 使烷烃类的相对含量降低.

芳烃类在活动区的相对含量达到了 20%, 明显高于另两个区域, 说明活动区受人为源排放的影响较大; 另两个区域夏、秋季节芳烃类的相对含量高于冬、春两季, 这可能由于夏、秋两季天然植物源排放所致; 而在活动区芳烃类的变化是冬 > 春 > 夏 > 秋, 说明该区域受人为源排放的影响很大.

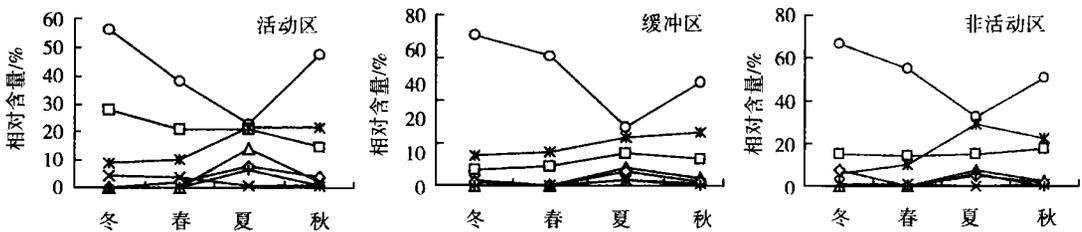


图 2 VOCs 随季节的变化

—○— 烷烃类 —□— 芳烃类 —▲— 有机酸 —×— 萜烯类 —\*— 酯类 —◇— 有机醛 —+— 酮类

Fig. 2 Varieties of VOCs with seasons

活动区和缓冲区醛类化合物随季节的变化规律是夏 > 秋 > 春 > 冬, 这也与植物生长的季节性相符合, 植物花期释放的 VOCs 多为饱和醛; 而非活动区其变化比较特殊, 冬季的含量最高, 夏季次之, 秋春两季含量最低, 且该区域醛类化合物的含量高于另两个区域, 该区域有鹫峰的观音阁, 可能由于香烛燃放所致. 冬季由于逆温现象, 使得醛类物质的相对含量出现增加趋势; 春季多风, 醛类物质由于大气扩散含量降低, 到了植物主要生长开花的夏秋季节, 醛类物质含量也在相应增加.

酯类的变化表现为夏季含量最高, 秋、春季次之, 冬季最低, 与植物的生长季节性变化相一致.

说明酯类化合物基本上来自于天然源的植物排放，而且缓冲区和非活动区的酯类含量要高于活动区，也与各个区域的植被覆盖度、数量和种类一致，活动区的植物种类和数量都少于缓冲区和非活动区。

萜烯类的相对含量在总 VOCs中很低，冬春季的相对含量大于夏、秋季节，这可能是因为萜烯类物质主要来自于常绿的松柏类植物，虽然冬、春季节气温低萜烯类物质的排放量会减少，但在夏、秋季节由于植物生长释放多种 VOCs，使得萜烯类物质的相对含量与冬、春季相比反而降低。酸类物质和酮类物质相对含量的变化也遵循植物生长的季节性，即夏季最高，秋季次之，而在冬、春季节没有检测到。

酸类和酮类物质的相对含量在夏季分别达到 14% 和 6%，说明这两类物质基本上来自于植物。

#### 4 各个采样区环境空气中 VOCs的空间分布

环境空气中 VOCs的空间分布与植物的生长周期性相一致。冬、春两季烷烃类在空间上的分布是缓冲区 > 非活动区 > 活动区；秋季烷烃类的空间变化比较平缓，这是因为秋季大部分植物生长逐渐衰退，植物的挥发性气体对大气中 VOCs的组分和含量的影响减弱的缘故；春、夏两季的变化趋势较大，但在夏季，烷烃类的相对含量总体上要比其它三个季节小得多，最高也只有 32% 左右，这是因为夏季植物的 VOCs种类和含量激增从而使得烷烃类的含量降低。

芳烃类的变化很明显，活动区的含量要比缓冲区和非活动区的都高，该风景区的交通主要在此区域内，而且在进行房屋翻新装修所以含量较之其它区域要高；在冬季，非活动区芳烃类含量反而要高于缓冲区，这是因为非活动区人为干扰少，天然源的枯枝落叶积累排放所致。

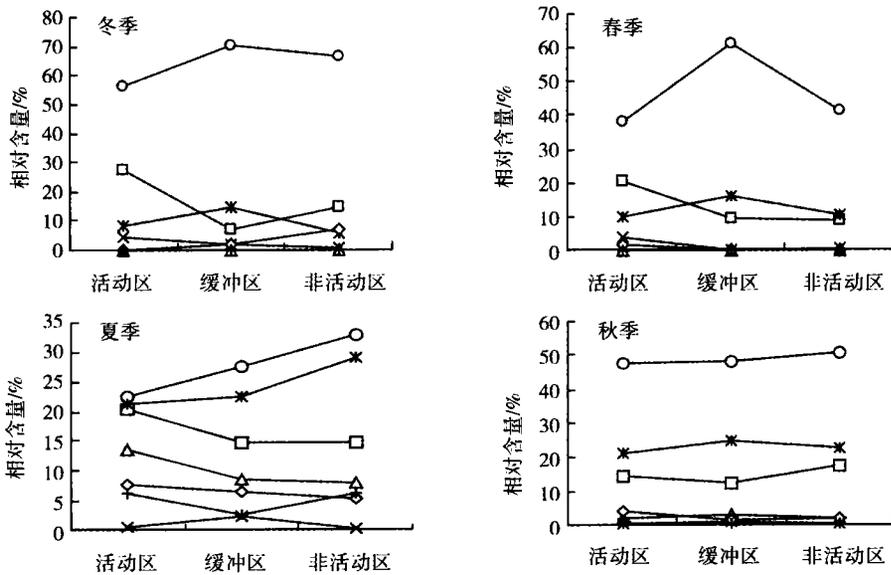


图3 VOCs不同区域的分布

—○— 烷烃类    —□— 芳烃类    —△— 酸类    —×— 萜烯类    —\*— 酯类    —◇— 醛类    —+— 酮类

Fig. 3 Distributing of VOCs in different areas

酸类物质和酮类物质在活动区含量最高，缓冲区和非活动区相差不大，这是由于在活动区除了植物挥发出来的之外，也受到人为活动的影响。萜烯类的主要来源是植物，其随季节的变化比较特殊，春、冬两个季节高于夏、秋两个季节，其原因主要与各个区域植物数量和植物种类分布相关。

醛类物质的相对含量除了冬季，在其它季节里，其空间分布均是活动区 > 非活动区 > 缓冲区，这可能是由于春、夏、秋三个季节里除了植物生长开花时释放的挥发物，也受到人为源影响。活动区的含量高是因为该区域车辆活动频繁，再加上各种装修材料的使用所造成。

酯类化合物的分布比较特殊,除了夏季是非活动区>缓冲区>活动区,其它三个季节是缓冲区的酯类含量最高;夏季非活动区的酯类相对含量是四个季节里最高的,产生这种现象的原因可能是植物生长开花时挥发出的酯类化合物增加了非活动区的含量.

综上所述,鹫峰国家森林公园共检出以烷烃类、芳烃类和酯类为主的175种化合物,前两者占总VOCs种类的63.8%,其中烷烃类物质中有32种只在夏、秋季出现,说明空气VOCs中烷烃类化合物大部分源于植物的排放.与北京市区相比,有害VOCs如卤代烷烃类等的种类和含量比市区低,一些用于香料加工的化合物种类和含量要比市区多,如辛醛、壬醛、癸醛、十一醛、十三醛、苯甲醛、苯乙醛、丁酸乙酯等.

#### 参 考 文 献

- [1] 李金龙,白郁华,油松排放萜烯类化合物浓度的日变化及排放速率的研究.中国环境科学,1994,14(3):165-169  
 [2] 白郁华,李金龙,赵美萍等,杨树排放碳氢化合物的相关因素.环境化学,1995,14(2):118-123  
 [3] 赵美萍,邵敏,白郁华等,我国几种典型树种非甲烷烷烃类的排放特征.环境化学,1996,15(1):69-75  
 [4] 白建辉,王明星,森林排放非甲烷碳氢化合物的初步研究.大气科学,1998,22(3):247-250  
 [5] 白建辉,Graham John,亚热带森林非甲烷碳氢化合物的研究II.日变化.气候与环境研究,2001,6(4):456-466  
 [6] 白建辉,王庚辰,任丽新等,内蒙古草原挥发性有机物排放通量的研究.环境科学,2003,24(6):16-22  
 [7] 白建辉,Bradly Baker,Curtis Johnson等,西双版纳热带森林挥发性有机物的观测研究.中国环境科学,2004,24:142-146  
 [8] 冯学钢,包浩生,旅游活动对风景区地被植物土壤环境影响的初步研究.自然资源学报,1999,14(1):75-78

## COMPOSITION AND CHARACTERISTICS OF VOCs IN AMBIENT AIR IN JIUFENG COUNTRY FOREST PARK

LIMei-juan<sup>1</sup> ZHOU Xiao-jing<sup>2</sup> HAN Lie-bao<sup>1</sup>  
 CHEN Hua-jun<sup>2</sup> JIN You-ju<sup>2</sup> ZENG Hui-ming<sup>1</sup>

(1 Lavn Institute, Beijing Forestry University, The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083 China; 2 Biology Central, Beijing Forestry University, Beijing 100083 China)

#### ABSTRACT

By using TCT-GC/MS to analyze volatile organic compounds(VOCs) in ambient air in Jiufeng country forest park, we detected 175 species totally. They contains 7 main compositions: the alkanes, the arenes, the esters, the acids, the aldehydes, the ketones and the terpenoids, the relative contents separately are 48.11%, 15.67%, 17.28%, 3.13%, 3.17%, 1.36%, 1.45%; In the activity area we detected the VOCs species is the most, the buffer area is the second, and the inactivity area is the minimal, which is consistent with the human's active frequency of each area.

**Keywords** volatile organic compounds, Jiufeng country forest park