

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 01. 039

绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染的响应关系研究

胡剑东, 李红玲, 谢 慧

(中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 在环境大气中非甲烷总烃(NMHC)属于重要污染物,其成分结构较为复杂,种类较多,部分非甲烷总烃化合物具有致癌作用、刺激性和毒性,有时还会形成二次有机气溶胶和光化学烟雾,造成环境污染,严重威胁着生态环境和人体健康。研究绿道规划植被非甲烷总烃排放与大气污染间存在的响应关系具有重要意义。采用光合有效辐射和叶温等基本变量,计算绿道规划植被 NMHC 排放量,分析不同植被排放的 NMHC 成分构成,获取了光强和温度对植物排放 NMHC 速率产生的影响。采用最大增量活性因子法 MIR 和丙烯等效浓度(Prop-Equiv)研究绿道规划植被 NMHC 排放与臭氧生成潜势(OFP)之间的关系,进而获得 NMHC 排放与大气污染之间的响应关系。

关键词: 绿道规划植被; NMHC 排放; 排放速率; 大气污染; 最大增量活性因子法(MIR); 丙烯等效浓度(Prop-Equiv); 臭氧生成潜势(OFP)

中图分类号: S731.8; X131.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0225-06

引文格式: 胡剑东, 李红玲, 谢慧. 绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染的响应关系研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 225-230. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 01. 039

HU Jiandong, LI Hongling, XIE Hui. Response Relationship between Vegetation NMHC Emissions and Air Pollution in Greenway Planning[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 225-230. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 01. 039

Response Relationship between Vegetation NMHC Emissions and Air Pollution in Greenway Planning

HU Jiandong, LI Hongling, XIE Hui

(PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 310000, China)

Abstract: Non methane total hydrocarbons are important pollutants in the environmental atmosphere, with complex composition and diverse types. Some non methane total hydrocarbon compounds have carcinogenic, irritating and toxic effects, and sometimes form secondary organic aerosols and photochemical smog, causing environmental pollution and seriously threatening the ecological environment and human health. The research on the response relationship between non methane total hydrocarbon (NMHC) emissions from vegetation and atmospheric pollution in greenway planning is of great significance. The proposed method calculated the NMHC emissions from vegetation by using the basic variables such as photosynthetic effective radiation and leaf temperature, analyzed the NMHC components of different vegetation emissions, and obtained the effects of light intensity and temperature on the rate of NMHC emissions from

收稿日期: 2022-07-19.

基金项目: 华东勘测设计研究院科技项目“江南地区山地绿道的选型及技术应用”(KY2020-JZ-20).

第一作者: 胡剑东(1986-), 男, 浙江宁波人, 硕士, 高级工程师. 研究方向为风景园林规划与设计.

责任作者: 李红玲(1991-), 女, 浙江绍兴人, 工程师. 研究方向为风景园林规划与设计.

plants. On this basis, the maximum incremental reactivity factor method (MIR) and propylene equivalent concentration (Prop-Equiv) were used to study the relationship between vegetation NMHC emissions and ozone formation potential (OFP) in greenway planning, and to obtain the response relationship between NMHC emissions and air pollution.

Key words: greenway planning vegetation; NMHC emissions from vegetation; emission rate; air pollution; maximum incremental reactivity factor (MIR) method; propylene equivalent concentration (Prop-Equiv); ozone formation potential (OFP)

我国碳达峰、碳中和愿景与美丽中国建设目标高度协同,应尽快构建新一代大气污染防治科学体系。新政策已把“治标和治本很好地结合起来”,同时将大气污染物与温室气体协同减排,共同助力“碳达峰”“碳中和”“双碳”战略目标。当前,我国面临光化学烟雾、酸雨、气候变化等环境问题,其中痕量气体是大气化学的重要组成部分,其带来的环境问题不容忽视。通过对环境中痕量气体浓度的分析发现,活性低、寿命短的痕量气体变化明显,变化迅速,对大气的影响比较大。大气痕量成分中含有非甲烷总烃(NMHC),是城市化学烟雾的主要成分。在酸除尘过程中,NMHC在有机酸的组成中起着很大作用^[1],经调查发现,在全球范围内,人为排放的NMHC远低于植物排放的NMHC,通过上述分析可知,研究绿道规划植被NMHC排放与大气污染的响应关系具有重要意义。

1 研究方法

1.1 参数计算

经调查发现,光照和温度等均会影响植物排放NMHC的速度,两者之间呈正相关。随着光照和叶温的增加,植物排放NMHC的速度加快,相反,随着光照和叶温的降低,植物排放NMHC的速度降低。当光撤去时,植物NMHC的排放量不断降低,最后降为0。在温度为40℃时,且光照处于中等水平条件下,植物排放的NMHC达到饱和^[2]。在上述分析的基础上,通过光合有效辐射和叶温等基本变量计算植物的NMHC排放量 R ,具体计算公式为:

$$R = \sum_i R_i = \sum_i N_{li} R_{0i} \eta_i \varepsilon_i \quad (1)$$

式中: R_i 为第*i*种植物的NMHC排放量; N_{li} 为叶生物量; R_{0i} 为第*i*种植物在标准光强和标准温度下排放异戊二烯的潜力,其中标准光强为1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,标准温度为303 K; ε_i 为控制变量,该变量考虑了长期排放活性,可通过下式计算得到:

$$\varepsilon = \begin{cases} 0 & K < K_0, K > (K_0 + K_D) \\ \sin \frac{K - K_0}{K_D} & K_0 \leq K \leq (K_0 + K_D) \end{cases} \quad (2)$$

式中: K_0 为植物初始排放异戊二烯的时间; K 为植物排放异戊二烯的当天; K_D 为植物排放异戊二烯的总天数。

公式(1)中的 η_i 为排放活性因子,其表达式为:

$$\eta_i = \left\{ \exp \left(\frac{cT_1(T - T_s)}{T_s T} \right) \right\} / \left\{ 1 + \exp \left(\frac{cT_2(T - T_m)}{T_s T} \right) \right\} \times \left(\frac{\beta c T_1}{\sqrt{1 + \beta^2}} \right) \quad (3)$$

式中: T 为植物表面温度;温度 $T_m = 314 \text{ K}$;参数 $\beta = 0.0027$; $cT_1 = 1.066 \text{ J/mol}$; $cT_2 = 2300 \text{ J/mol}$; T_s 为标准条件下植物的叶温。

1.2 植物NMHC排放构成

植物表面存在的挥发油组成会影响植物非甲烷总烃(NMHC)的排放,不同植物排放的NMHC构成如表1所示。

表1 不同植物排放的NMHC构成

Tab. 1 Non methane total hydrocarbons emitted by different plants

植物	非甲烷总烃成分
开花期的槐树	β -罗列烯、异戊二烯、d-苧烯、 α -蒎烯、 β -蒎烯、 α -松油烯
松树	正十一烷、 α -蒎烯、壬烷、 β -蒎烯、辛烷、 α -松油烯、庚烷、d-苧烯、戊烷、 β -罗列烯、异戊二烯、单萜烯
槐树	正十一烷、异戊二烯、戊烷、戊烯
柏树	β -罗列烯、 α -蒎烯、d-苧烯、 α -松油烯、单萜烯
杨树	异戊二烯

单萜烯和异戊二烯是植物排放的主要非甲烷总烃成份,植物中的链烷烃含量较少。典型的针叶树种包括柏树和松树,该类植物排放的NMHC主要为单萜烯。典型的阔叶树种包括槐树和杨树,该类植物排放的NMHC主要由异戊二烯构成。

1.2.1 松树 NMHC 的排放速率

光强和温度对植物排放非甲烷总烃 NMHC 的速率会产生影响。本次研究的各种植物信息均在春季 4 月收集。春季的日照和光强较温和。首先研究不同时间段光强和温度变化(图 1)。

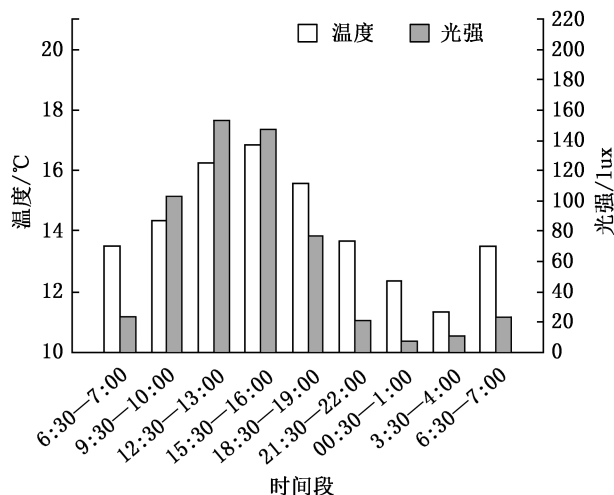


图 1 春季 4 月不同时间段光强和温度数据

Fig. 1 Light intensity and temperature data for different time periods in April

确认不同时间段松树的光强和温度变化后,研究不同时间段松树 NMHC 排放速率(图 2)。

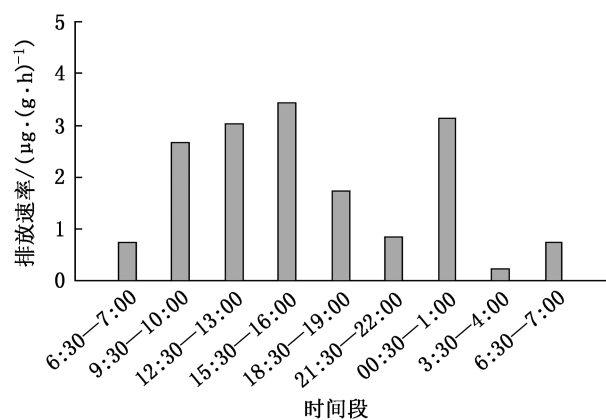


图 2 不同时间段受光强和温度影响的松树 NMHC 排放速率

Fig. 2 Emission rate of NMHC from pines affected by light intensity and temperature at different time periods

由图 2 可知,在一天内,松树排放 NMHC 的速率在 15:30—16:00 和 00:30—1:00 时处于高峰期,这种现象的发生与其自身的生理特性有关。一天的光照强度和温度在中午时最高,此时,植物与外

界的气体交换速度最高,呼吸和光合作用最高,因此,植物排放 NMHC 的速率达到最大^[3-4]。植物的光合作用在夜间基本停止,但植物的呼吸作用未停止,植物的呼吸作用在子夜前后达到峰值。按照一天的光照强度和温度,对柏树、杨树、槐树也进行 NMHC 排放速率收集。

1.2.2 柏树 NMHC 的排放速率

不同时间段受光强和温度影响的柏树 NMHC 排放速率见图 3。

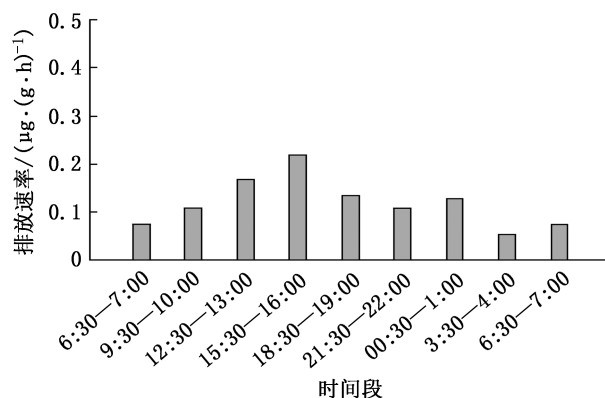


图 3 不同时间段受光强和温度影响的柏树 NMHC 排放速率

Fig. 3 Emission rate of NMHC from cypresses affected by light intensity and temperature at different time periods

由图 3 可知,柏树的 NMHC 排放速率相对较低,与松树相比,其值在 0~0.5 μg/(g·h) 范围。

1.2.3 杨树 NMHC 的排放速率

不同时间段受光强和温度影响的杨树 NMHC 排放速率见图 4。

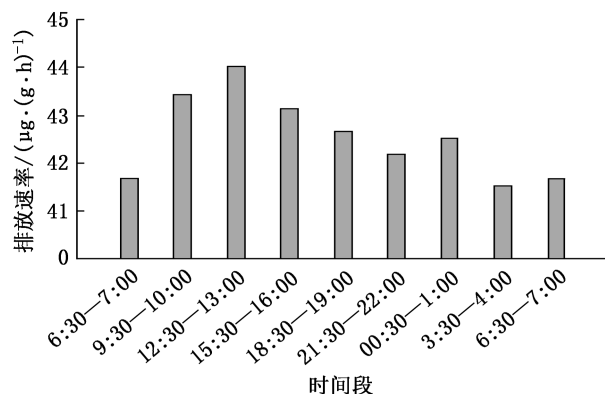


图 4 不同时间段受光强和温度影响的杨树 NMHC 排放速率

Fig. 4 Emission rate of NMHC from poplars affected by light intensity and temperature at different time periods

由图 4 可知,杨树是研究的几种植物中 NMHC 排放速率最高的树种,其值在 $41 \sim 45 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 范围。

1.2.4 槐树 NMHC 的排放速率

不同时间段受光强和温度影响的槐树 NMHC 排放速率见图 5。

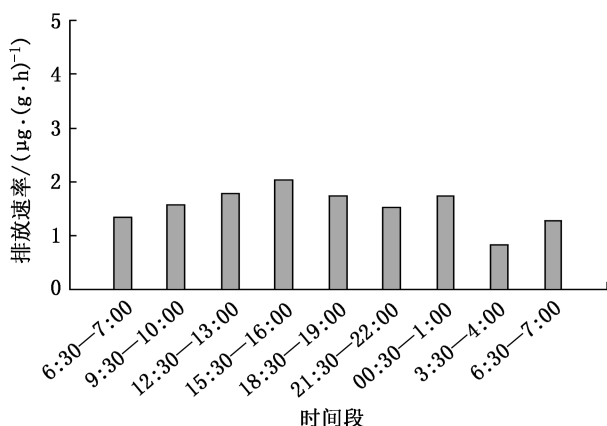


图 5 不同时间段受光强和温度影响的槐树 NMHC 排放速率

Fig. 5 Emission rate of NMHC from locust trees affected by light intensity and temperature at different time periods

由图 5 可知,槐树的 NMHC 排放速率在 $1 \sim 3 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 范围。

槐树和柏树排放 NMHC 的速率呈季节性规律,在冬季,树木释放出的非甲基烃类化合物的速度比春季要慢,而在秋季和夏季中,以夏季为最高。树叶是树木排放 NMHC 的主要途径。冬季常绿树木如柏树和松树的 NMHC 排放速率较低,造成这种现象的主要原因是树木在冬季的生理过程变慢,进而降低了排放 NMHC 的速率。

2 NMHC 排放与大气污染的响应关系

大气中存在的挥发性有机物种类较多,不同种类的有机物对应的结构有所不同,物种与大气间存在的化学反应直接受物种结构的影响。臭氧生成潜势 OFP 直接受 NMHC 各物种最大增量反应活性和浓度的影响^[5-6],其中最大增量反应活性描述的是每毫克 NMHC 物质生成的臭氧质量,臭氧生成潜势 OFP 可通过下式计算得到:

$$\text{OFP} = \sum_i \frac{[\text{NMHC}]_i \cdot M_i \cdot \text{MIR}_i}{M_{\text{O}_3}} \quad (4)$$

式中: M_i 为物质的质量; MIR_i 为最大增量反应活性; M_{O_3} 为臭氧的质量; $[\text{NMHC}]_i$ 为 NMHC 各物种在实际观测过程中的大气环境浓度。

绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染的响应关系分析采用的方法为最大增量活性因子法 MIR^[7]和丙烯等效浓度 Prop-Equiv。研究绿道规划植被 NMHC 排放对 OFP 的影响,获得绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染的响应关系。

不同类别 NMHC 在环境大气中的占比以及对 OFP 贡献率和 Pro-Equiv 浓度如图 6 所示。

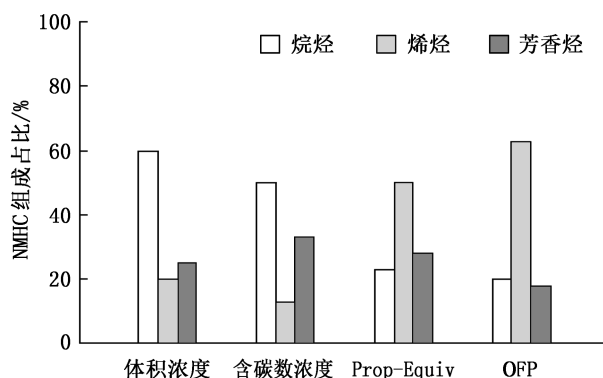


图 6 NMHC 组成占比与臭氧生成潜势贡献率和 Pro-Equiv 浓度关系

Fig. 6 Relationship between the proportion of NMHC and the contribution rate of OFP and Prop-Equiv concentration

由图 6 可知,从含碳数浓度和体积混合比角度分析,烷烃对 NMHC 的贡献率为 60%,对 OFP 贡献率和丙烯等效浓度进行分析,烯烃占比分别为 62% 和 50%,在所有物种中,烯烃对臭氧生成的贡献最高。芳香烃和烯烃的反应活性较大,容易在环境中参与光化学反应,对臭氧生产的贡献较高。

芳香烃、烯烃、烷烃在一年四季中对 Prop-Equiv 的贡献率如图 7 所示。

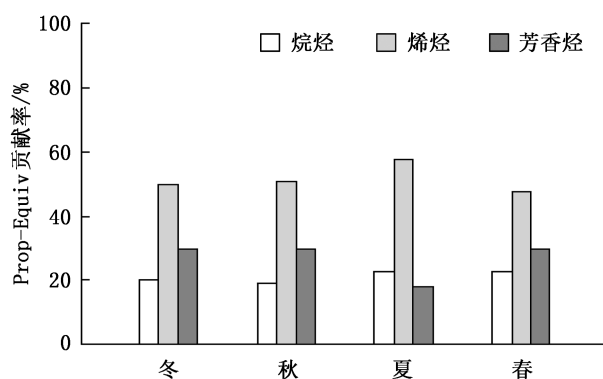


图 7 不同季节 Prop-Equiv 贡献率

Fig. 7 Contribution rate of Prop-Equiv concentration in different seasons

由图 7 可知,烯烃在一年四季中对 Prop-Equiv 的贡献率较高,在春季和冬季中,烯烃的 Prop-Equiv 贡献率要低于秋季和夏季,造成这种现象的主要原因是烯烃拥有较低的沸点,夏季和秋季的温度相对较高,烯烃更容易挥发^[8]。图 8 为芳香烃、烯烃和烷烃在一年四季中的 OFP 贡献率。

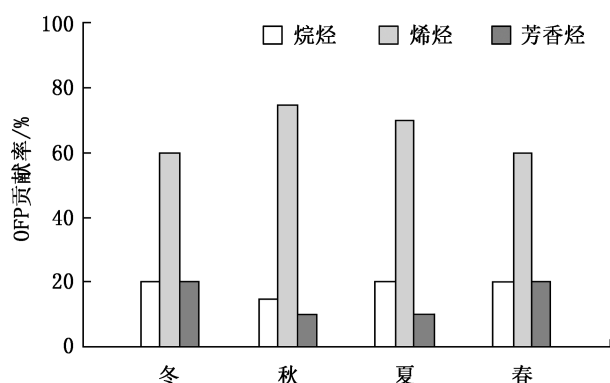


图 8 不同季节的 OFP 贡献率

Fig. 8 Contribution rate of OFP in different seasons

由图 8 可知,OFP 贡献率变化情况与 Prop-Equiv 贡献率变化情况接近,烯烃在一年四季中的 OFP 贡献率最高。Prop-Equiv 和 OFP 排名如图 9, 图 10 所示。

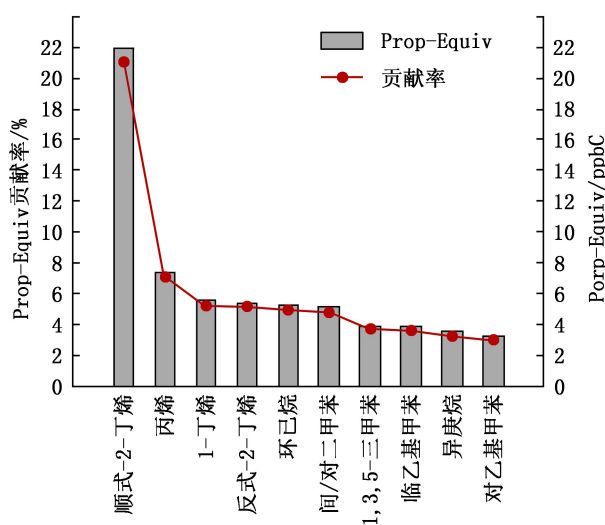


图 9 Prop-Equiv 及其贡献率排名

Fig. 9 Ranking of contribution rate of Prop-Equiv concentration

烯烃和芳香烃在两个排名中均名列前茅,在上述排名中只存在环己烷这一种烷烃,剩下的物种均

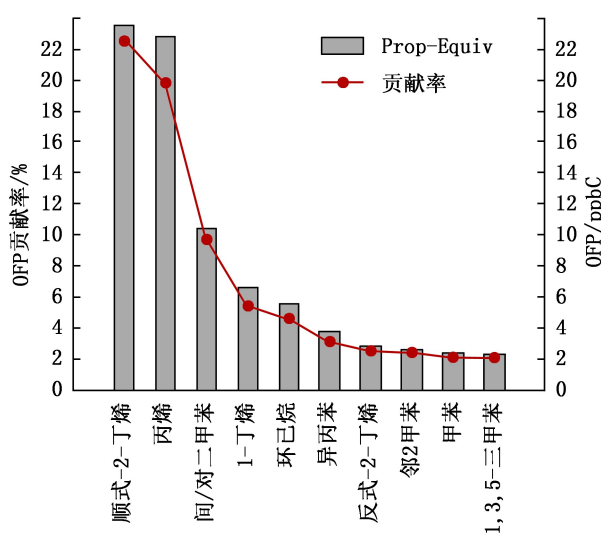


图 10 OFP 及其贡献率排名

Fig. 10 Ranking of contribution rate of OFP

为芳香烃和烯烃。在大气环境中芳香烃的浓度较低,但其反应活性和含碳数较高,因此拥有较大的臭氧生成贡献,分析 Prop-Equiv 可知,对臭氧贡献最大的是顺式-2-丁烯。NMHC 在春季、夏季、秋季和冬季的 OFP 如图 11,图 12 所示。

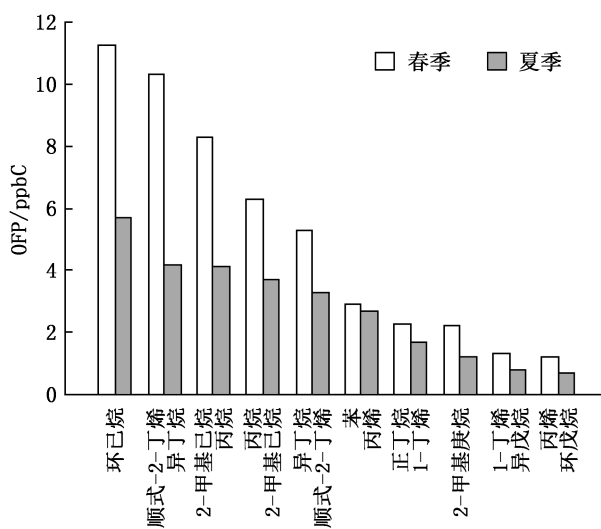


图 11 春季和夏季 OFP 排名

Fig. 11 Ranking of OFP in spring and summer

由图 11 和图 12 可知,春季 OFP 排名前三名为环己烷、顺式-2-丁烯、2-甲基己烷,夏季 OFP 排名前三名为环己烷、异丁烷、丙烷;秋季 OFP 排名前三名为环己烷、顺式-2-丁烯、2-甲基己烷;冬季 OFP 排名前三名为丙烷、异丁烷、顺式-2-丁烯。

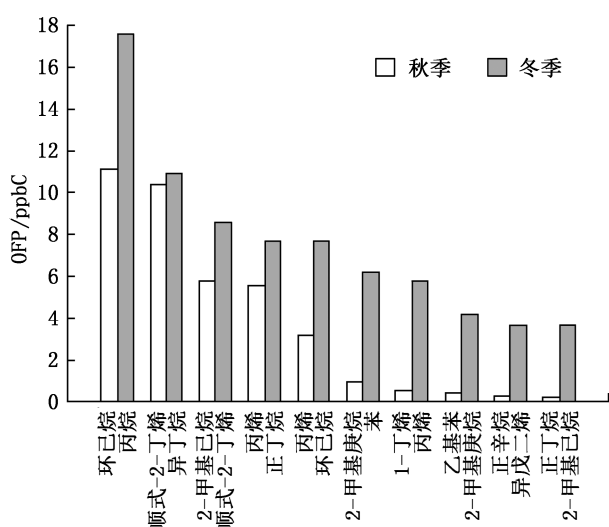


图 12 秋季和冬季 OFP 排名

Fig. 12 Ranking of OFP in autumn and winter

3 结 论

1) 对我国 4 种常见树种 NMHC 排放测算结果显示,松柏等针叶树种排放的主要是单萜烯,松树也排放少量的异戊二烯和链烷烃,杨树、槐树等阔叶树排放的主要是异戊二烯,槐树在花期也会释放一定数量的单萜烯。

2) 树种的 NMHC 排放规律不仅与树种自身的结构、成熟度、生理周期等内在因素有关,而且受温度、光照强度等环境因素的影响较大。温度越高,光照越强,植物的排放速率就越大。杨树异戊二烯排放速率与环境温度呈良好的对数线性相关。

3) 不同树种 NMHC 排放速率差异较大。

4) 植物的 NMHC 排放是大气中 NMHC 的一个重要来源,无论是排放量还是反应性皆如此。本文涉及的树种和采集的样本数量比较有限,只能得出一些初步结论。非常有必要继续在此领域进行更深入、更细致的研究。

4 讨 论

在二次有机气溶胶和对流层臭氧形成过程中, NMHC 发挥着重要作用,甲苯和苯均属于 NMHC,会对大气环境、生态系统和人类健康产生影响。NMHC 的来源较多,具有复杂的成分结构和较多的种类,研究 NMHC 造成的大气污染时,通常只研究 2-12 含碳数的 NMHC 化合物,不同的 NMHC 化合物

的物理化学性质均不相同,因其分子结构和含碳数存在差异。因此不同 NMHC 化学物由其自身的浓度水平、化学结构和含碳数决定其物理和化学性质。

在大气化学研究领域,植被排放的 NMHC 与大气污染之间存在的响应关系属于重要部分,可根据两者之间的响应关系制定酸雨防治对策和光化学烟雾污染的控制策略。在大气化学研究过程中,对大气环境的变化实行相关的评价和预测具有重要意义,可按照人为来源和天然来源划分大气中存在的 NMHC,其中植物排放的 NMHC 在天然来源 NMHC 中占据较大比例,因此,研究绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染之间的响应关系具有重要意义,所提方法根据绿道规划植被排放的 NMHC 中存在的各类物种与 OFP 之间的关系,获得绿道规划植被 NMHC 排放与大气污染之间的响应关系,为降低环境污染、大气污染以及保障人体健康提供了相关依据。

参考文献:

- [1] 谢馨,韩颖,秦承华. 基于便携式氢火焰离子化检测器法测定固定污染源废气中非甲烷总烃的研究[J]. 中国环境监测,2020,36(1):120-124.
- [2] 郑文霞,郭新彬,郭雨萱,等. 大兴安岭典型乔木树种燃烧排放非甲烷总烃(NMHCs)的特性[J]. 林业科学,2020,56(12):101-113.
- [3] 秦金萍,刘颖,马玉寿,等. 返青期休牧对退化高寒草甸植被生长及其优势植物垂穗披碱草光合作用的影响[J]. 草地学报,2020,28(4):1068-1075.
- [4] 林淑芳. 例析论证式教学在初中生物学总复习中的应用——以“绿色植物的光合作用和呼吸作用”为例[J]. 生物学教学,2020,45(6):31-34.
- [5] 崔茹,莫梓伟,袁斌,等. 我国日化用品使用挥发性有机物(VOCs)排放及臭氧生成潜势研究[J]. 环境科学学报,2021,41(6):2272-2281.
- [6] 刘中凯,刘万超,闫琨,等. 拜耳法生产氧化铝溶出过程挥发性有机物排放特征及臭氧生成潜势[J]. 环境污染与防治,2020,42(11):1375-1379.
- [7] 姚青,韩素芹,张裕芬,等. 天津夏季郊区 VOCs 对臭氧生成的影响[J]. 环境科学,2020,41(4):1573-1581.
- [8] 罗耀亚,王森,郭淑佳,等. 不同合成方法制备 $Zn_xCe_{1-x}O_4$ /SAPO-34 催化剂及其合成气制低碳烯烃催化性能的研究[J]. 燃料化学学报,2020,48(5):594-600.

责任编辑:许易琦