

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2014.11.025

成都市川菜烹饪油烟中 VOCs 排放特征及其对大气环境的影响*

蒋 燕 尹元畅 王 波 王 斌**

(四川大学建筑与环境学院, 成都, 610065)

大气中挥发性有机物(VOCs)通常具有光化学活性,是对流层臭氧(O_3)和二次有机气溶胶(SOA)的重要前体物.据估算,沈阳市 2007 年餐饮业 VOCs 排放量达 581.1 吨^[1];而北京市餐饮业每年将有 1500 吨细粒子有机颗粒物排入大气^[2].餐饮油烟作为城市 VOCs 的重要来源之一,对大气环境具有重要影响.

本文利用成都市 8 家社会餐饮实地监测数据,分析 VOCs 排放特征,估算全市餐饮业 VOCs 排放总量,并计算其臭氧和 SOA 生成潜势,为成都市大气污染防治工作提供基础数据.

1 实验部分

1.1 仪器及设备

Agilent 7890A 气相色谱仪;Agilent 5975C 质谱检测器;7016CA 自动进样器;7100A 预浓缩仪;3100 系列清罐仪;4600A 动态稀释仪.

1.2 样品采集

采用 3 L 不锈钢真空气体采样罐(苏码罐)采集油烟样品,采样持续时间约为 60 s.苏码罐内壁经剖光、硅烷化处理,在采样前用自动清洗仪进行清洗,清洗后抽真空备用.选择成都市内大中型川菜馆各 4 家,合计 8 家作为样品采集对象.采样点位于 8 家餐馆排气筒的采样孔内(净化设施后).于 2014 年 3 月 12—18 日分别采集 8 家餐馆油烟样品,采样时间为餐馆营业高峰期(中午 12 点—1 点或晚上 6 点—7 点),共采集到 8 组样品.

1.3 采样餐馆描述

8 家餐馆均主营川菜,使用油多为调和油,使用燃料均为天然气,且均安装有油烟净化设施.采样期间,各餐馆烹饪菜肴以青菜、猪肉等为主;其中 6 家餐馆的灶头处于满负荷工作状态,另外 2 家餐馆有 80%的灶头在工作.

1.4 样品分析

VOCs 分析参考美国 EPA 推荐的 TO-15 方法,采用低温预浓缩仪和气相色谱/质谱联用的分析技术.首先,利用 Entech 7100A 浓缩系统对大气样品进行预浓缩,经三级冷阱吸附再加热解吸后进行测定.利用气相色谱/质谱联用系统对样品进行定性定量分析,根据标准质谱库和混合气体标准化合物进行定性分析,采用标准化合物建立多点标准曲线进行定量分析.本次实验使用的标准气体是含有 VOCs 的混合标气,共 64 种.

2 结果与讨论

2.1 VOCs 成分分析

餐饮油烟中的 VOCs 组分复杂,本次实验共检测了 VOCs 混合标气中的 64 种物质.对成都市内 8 家川菜馆油烟样品的监测数据进行整理分析,对比标准质谱图可得:川菜馆排放的餐饮废气中共检测出 14 种 VOCs,其中苯系物 6 种(43%)、烷烯烃 4 种(29%)、卤代烃 2 种(14%)、酮类 2 种(14%).8 家餐馆油烟废气排放口总 VOCs 瞬时浓度平均为 $0.371 \pm 0.451 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,各种 VOCs 的质量浓度平均值见图 1.各类 VOCs 所占总 VOCs 的质量浓度百分比平均为:苯系物 70% ($0.259 \pm 0.371 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$),烷烯烃 10% ($0.037 \pm 0.028 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$),卤代烃 8% ($0.029 \pm 0.044 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$),酮类 11% ($0.040 \pm 0.038 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$).

由图 1 可看出,川菜馆排放的餐饮废气中苯系物是主要的污染物,其中甲苯最多 ($0.096 \pm 0.137 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$),其次是对,间-二甲苯 ($0.074 \pm 0.110 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) 和乙苯 ($0.052 \pm 0.072 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$).烷烯烃中丙烯最多 ($0.018 \pm 0.004 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$),其次是 1,3-丁二烯 ($0.008 \pm 0.018 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$).烃类物质共占检出污染物总浓度的 80%.含氧有机物中丙酮 ($0.038 \pm 0.033 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) 则是最主要的污染物.由此可推断川菜馆排放废气中 VOCs 主要由烃类物质和含氧有机物组成,并以苯系物、烷烯烃和酮类为主,特征物质有甲苯、二甲苯、乙苯、丙酮、丙烯等.王敏等^[3]采用吸附管采样,对成都地区川菜烹调源 VOCs 排放浓度的

2014 年 5 月 29 日收稿.

* 四川省环境保护重大科技专项 (2013HBZX02) 资助.

** 通讯联系人, Tel: 13880507128; E-mail: wangbin.scu@gmail.com

分析表明,芳香烃是餐饮油烟中的主要污染物,所占质量百分比为 46%;烷烯烃所占质量百分比为 22%;含氧有机物占 32%;总 VOCs 浓度为 $0.275\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.本实验结果与此基本一致.

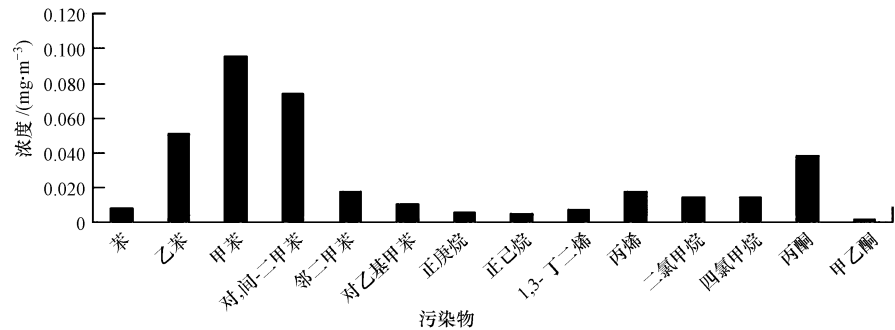


图 1 川菜馆排放废气中检出的 VOCs 质量浓度

2.2 VOCs 排放量估算

VOCs 排放量估算采用公式: $Q = C \cdot Q_v \cdot t$.式中, Q 为某川菜馆每天 VOCs 平均排放量($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$); C 为排烟口 VOCs 瞬时排放浓度($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$); Q_v 为烟气排放速率($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$),以 4 家中型川菜馆烟气平均排放速率计算; t 为烟气排放时间(h),以每天餐馆营业时间计算,平均为 4 h.4 家中型餐馆烟气平均排放速率为 $14400\pm6400\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,则可估算得到川菜馆每天 VOCs 平均排放量为 $21.4\pm27.7\text{ g}$.考虑到成都市川菜馆居多,因此以川菜馆 VOCs 排放特征代表社会餐饮 VOCs 排放特征.从大众点评网上统计得到 2013 年成都市餐饮企业合计 48241 家,则可估算得到成都市社会餐饮 VOCs 年排放量为 $376.3\pm487.1\text{ 吨}$.

2.3 臭氧生成潜势估算

臭氧生成潜势(OFP)代表 VOCs 物种在最佳条件下对臭氧生成的最大贡献,该项指标被广泛地用于 VOCs 的环境影响评估.OFP 的计算公式为: $\text{OFP}_i = E_i \cdot \text{MIR}_i$,式中, OFP_i 为第 i 个 VOCs 物种的 OFP 值; E_i 为第 i 个 VOCs 物种的排放量; MIR_i 为第 i 个 VOCs 物种的最大增量反应活性,采用 Carter 通过烟雾箱实验得到的经验数值.获得单个 VOCs 的 OFP 值后,将所有物种相加,即可得到总 VOCs 的臭氧生成潜势.

成都市餐饮业 VOCs 的臭氧生成潜势总量为 1667.5 吨,单位质量 VOCs 的 OFP 值为 4.43 吨.其中,贡献最大的物种是对,间-二甲苯,其 OFP 值为 588.5 吨,占总量的 35%.其次是甲苯和丙烯,OFP 值分别为 387.7 吨(23%)和 210.7 吨(13%).其余 VOCs 的 OFP 值占总量的百分比均小于 10%.由此说明餐饮业油烟废气中对,间-二甲苯、甲苯、丙烯对环境的影响较大.

2.4 SOA 生成潜势估算

本研究采用气溶胶生成系数法(FAC)来估算 SOA 的生成潜势,计算公式为: $\text{SOA}_p = \text{VOC}_0 \cdot F_{\text{VOCr}} \cdot \text{FAC}$.式中, SOA_p 为 SOA 的生成潜势; VOC_0 为单个 VOCs 的排放量; FAC 和 F_{VOCr} 分别是该种 VOCs 的气溶胶生成系数和参与反应的系数,本次计算主要采用 Grosjean 通过烟雾箱实验得到的多种 VOCs 的 FAC 和 F_{VOCr} ,苯的 FAC 和 F_{VOCr} 参照吕子峰等^[4]的研究结果.由此可得,成都市餐饮业 VOCs 的 SOA 生成潜势总量为 2.17 吨,单位质量 VOCs 的 SOA 生成潜势为 5.77×10^{-3} 吨.其中,贡献最大的物种是对,间-二甲苯,其 SOA_p 为 0.81 吨,占总量的 37%.其次是甲苯和乙苯,其 SOA_p 分别为 0.63 吨(29%)和 0.43 吨(20%).由此可见,餐饮业油烟废气中苯系物对 SOA 的形成贡献较大.

3 结论

成都市川菜馆排放的餐饮废气中共检测出 14 种 VOCs,其中苯系物 6 种(43%)、烷烯烃 4 种(29%)、卤代烃 2 种(14%)、酮类 2 种(14%).各类 VOCs 所占总 VOCs 的质量浓度百分比平均为:苯系物 70%,烷烯烃 10%,卤代烃 8%,酮类 11%.餐饮废气排放口总 VOCs 平均浓度为 $0.371\pm0.451\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,特征物质有甲苯、二甲苯、乙苯、丙酮、丙烯等.利用本次实验结果和调查统计数据,可估算得到 2013 年成都市社会餐饮 VOCs 年排放量为 $376.3\pm487.1\text{ 吨}$;VOCs 的臭氧生成潜势总量为 1667.5 吨,SOA 生成潜势总量为 2.17 吨,其中贡献最大的物种均是对,间-二甲苯.

关键词: 餐饮油烟, VOCs, SOA, GC/MS, 臭氧生成潜势.

参 考 文 献

[1] 王秀艳, 史建武, 白志鹏, 等. 沈阳市烹饪油烟中 VOCs 排放特征分析[J]. 中国人口. 资源与环境, 2011, 21(3): 364-366
[2] 温梦婷, 胡敏. 北京餐饮源排放细颗粒物理化特征及其对有机颗粒物的贡献[J]. 环境科学, 2007, 28(11): 2620-2625
[3] 王敏, 印红玲, 李乾钱, 等. 川菜烹调源 VOCs 排放浓度及特征分析[J]. 环境化学, 2013, 32(9): 1809-1810
[4] 吕子峰, 郝吉明, 段菁春, 等. 北京市夏季二次有机气溶胶生成潜势的估算[J]. 环境科学, 2009, 30(4): 969-975