

长春市餐饮源 PM_{2.5} 和 VOC_S 排放清单

吴雪伟^{1,2}, 陈卫卫^{1*}, 王 堃³, 修艾军¹, 张世春¹, 赵红梅¹, 张学磊¹ (1.中国科学院东北地理与农业生态研究所湿地生态与环境重点实验室, 吉林 长春 130102; 2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.北京市劳动保护科学研究所, 大气污染控制研究室, 北京 100054)

摘要: 采用自下而上的四种不同清单编制方法(以人口、就餐次数、用油量和灶头为核算基准), 评估了长春市辖区 2014 年不同餐饮活动(家庭餐饮、社会餐饮和食堂餐饮)的大气污染物 PM_{2.5} 和 VOC_S 的排放量, 编制了餐饮源大气污染物 PM_{2.5} 和挥发性有机物(VOC_S)排放清单, 并分析了餐饮源排放的时空分布特征。结果表明: 2014 年长春市辖区餐饮源 PM_{2.5} 总排放量 183~770t, VOC_S 总排放量 9~586t; 长春市辖区餐饮源 PM_{2.5} 和 VOC_S 的最大排放源是家庭餐饮, 其贡献率分别为 74%~81%和 28%~78%, 食堂餐饮的贡献率分别为 8%~22%和 3%~26%, 社会餐饮的贡献率分别为 2%~17%和 2%~69%; 排放强度空间分布表明, 长春市辖区餐饮源污染物在排放区域上: 朝阳区>南关区>绿园区>二道区>宽城区>双阳区; 时间变化特征显示, 日变化峰值为 07:00~08:00, 11:30~12:30, 18:00~20:00; 周变化中周三、周六和周日排放量较大; 季节变化中, 冬季排放强度高于其他季节, 其中十二月份贡献率最大(9.98%); 不同方法计算的大气污染物排放清单中, 以人口为基准的不确定性最大, VOC_S 的不确定性为 302%, 以用油量为基准的不确定性最小, PM_{2.5} 和 VOC_S 的不确定性分别为 31%和 61%, 可以作为区域餐饮源大气污染物清单推荐方法。未来的工作将侧重于典型餐饮源本地排放因子的测定, 从而有效减少排放清单的不确定性。

关键词: 长春市; 大气污染物; 空气质量; 餐饮污染

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2018)08-2882-08

DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000-6923.2018.0303

PM_{2.5} and VOC_S emission inventories from cooking in Changchun City. WU Xue-wei^{1,2}, CHEN Wei-wei^{1*}, WANG Kun³, XIU Ai-jun¹, ZHANG Shi-chun¹, ZHAO Hong-mei¹, ZHANG Xue-lei¹ (1.Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Changchun 130102, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.Department of Air Pollution Control, Beijing Municipal Institute of Labour Protection, Beijing 100054, China). *China Environmental Science*, 2018,38(8): 2882~2889

Abstract: Cooking activities are one of important sources of atmospheric pollutants, but few corresponding emission inventory has been published. In this study PM_{2.5} and VOC_S emission inventories from cooking in Changchun City, Northeast China are developed. Based on four different bottom-up methods (i.e., based on population, dining out frequency, amount of edible oil and burner numbers), we collected the cooking activity data in Changchun City, Northeast China for the year of 2014. These data include the population, the frequency of dining out, the amount of edible oil, and the number of burners. The emission factors are obtained through literature review. Then the PM_{2.5} and VOC_S emission inventories from cooking based on the four different methods are developed and their spatial-temporal distributions analyzed. The results show the magnitude of annual cooking PM_{2.5} emissions in Changchun City are from 183 tons to 770 tons and VOC_S emissions between 9 tons and 586 tons in 2014. The PM_{2.5} and VOC_S emission from residential cooking were highest, which accounted for 74% to 81% and 28% to 78% of the total amount, while for 8% to 22% and 3% to 26% from cafeteria cooking and for 8% to 22% and 3% to 26% from commercial cooking. The spatial distribution of cooking emissions show that they are higher in Chaoyang District than in Nanguan District, Lvyuan District, Erdao District, Kuancheng District and Shuangyang District. Based on the temporal variation, emissions from cooking mainly occur from 7 am to 8am, 11:30 am to 12:30 pm, 18:00 pm to 20:00 pm during the day and are higher on Wednesday, Saturday and Sunday during the week. The emissions are higher in winter than other seasons, especially in January, February and December, which accounted for 9.23%, 9.47% and 9.98%. Considering the uncertainty of emission inventory, the VOC_S emissions inventory based on the population has the highest uncertainty, and based on edible oil amount the lowest uncertainty. The uncertainties of the PM_{2.5} and VOC_S emissions based on edible oil amount are 31% and 61%, which can act as a reference method to calculate regional cooking emission inventory. This study can provide reference and basis for the formulation of cooking emission inventory specifications in China.

Key words: Changchun; air pollutant; air quality; cooking pollution

收稿日期: 2017-12-15

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0212303); 国家自然科学基金项目(41775116); 中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDB-SSW-DQC045); 吉林省科技发展项目(20180520095JH); 中国科学院青年创新促进会项目(2017275); 中科院东北地理所“一三五”项目(IGA-135-05)

* 责任作者, 副研究员, chenweiwei@iga.ac.cn

餐饮源属于低空排放,而且都在人群密集区,所以餐饮行业排放特征对精准排放清单和保障身体健康具有重要意义.餐饮排放是城市大气环境 $\text{PM}_{2.5}$ 和挥发性有机物(VOC_s)的重点来源之一^[1-4].餐饮源释放的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 主要是食用油和食物在烹饪过程中,高温条件下发生的热氧化和热分解等化学反应形成的,受食材特点、烹饪方式和翻炒程度的影响^[4-8].研究表明,餐饮油烟中检测到的 VOC_s 达上百种^[6],餐饮油烟对人体具有潜在的致癌危险性,是室内空气污染的重要来源^[9-10].餐饮活动主要包括家庭餐饮、社会餐饮和食堂餐饮^[11].美国国家排放清单(2004年)结果显示,商业餐饮排放的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PAH 在总排放量中各自占 1%^[12],比重较小.而在我国,广州排放清单数据(2013年)显示,餐饮 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放占其排放总量的 12%^[13];北京排放清单数据(2015年)显示,餐饮 $\text{PM}_{2.5}$ 在排放总量中占 14.1%^[14],这说明餐饮源是我国城市大气污染物的重要来源.

目前,针对于我国餐饮源的研究主要集中在污染物成分的分析、排放因子的探索、细颗粒物排放空间分配、对健康的影响等方面以及餐饮油烟污染现状及净化技术进展^[15-19].研究城市及区域的大气污染问题,不仅要对 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 的污染现状展开调查,还需要制定不同区域 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 的排放清单,为数值模拟和减控措施的制定提供所必须的科学数据.而现阶段对餐饮源排放清单的研究还处于起步阶段,尚未形成统一的餐饮源清单编制规范,同时仅有少量的城市 and 区域编制了相关的排放清单,因此这进一步增加了数值模拟、来源解析等研究的不确定性.

由于秋冬季大气边界层低,且容易发生逆温现象,从而造成大量污染物的累积.明确不同大气污染物来源的排放特征和准确定量其排放量,是很多其他研究(例如:数值模拟、环境管理)的基础.目前,餐饮源的研究主要集中在北京、上海和广州等发达地区^[15,20-21],关于东北地区的餐饮源排放清单尚未有报导.尽管东北地区人口仅占全国人口的 8%,但是人口主要分布在省会城市及其相近的城市群,特别是吉林省和黑龙江省.同时,东北地区的饮食习惯与其他地区差异较大,表现为油量大、火候足、时间长,因此,东北地区餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 的排放潜力也不容忽视.本文采用基于统计资料的自下而上的清

单编制方法,用所收集到的 4 种餐饮源清单计算方法,对东北地区地理中心长春市餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 的排放量进行评估.本文首次对现有餐饮源大气污染物清单编制方法进行对比分析,筛选出最优方法,并首次编制了长春市高精度餐饮源排放清单.分析其时空分布规律、各类餐饮活动的贡献,及排放清单的不确定性,为该区域其他城市群餐饮源大气污染物排放清单编制提供科学依据.

1 数据与方法

1.1 研究区域概况

东北地区($38^{\circ}40'N\sim53^{\circ}30'N,115^{\circ}05'E\sim135^{\circ}02'E$)包括黑龙江省、吉林省、辽宁省以及内蒙古自治区东部四盟市(即呼伦贝尔市、兴安盟、赤峰市和通辽市图 1).东北地区的冬季寒冷且漫长,室外活动减少,饮食成了人们的重要活动.东北地区的饮食以溜、炸、爆、炖、酱、烤为主要特点,形糙色重味浓,再加上用油量大、火候足和时间长,产生的餐饮油烟量自然较多.长春市辖区($43^{\circ}31'N\sim43^{\circ}59'N,125^{\circ}10'E\sim125^{\circ}42'E$)包括朝阳区、南关区、宽城区、绿园区、二道区和双阳区六个区.长春市位于欧亚大陆东岸的中国东北大平原腹地,是东北地区天然地理中心,地处京哈与珲乌两条交通线交汇处,东北亚十字经济走廊的核心地带,是吉林省的政治、经济和文化中心.属于典型的东北城市.长春是一个多民族的区域,特别是满族、朝鲜族和蒙古族等生活聚居区较多,饮食习惯上以东北口味为基础,在此同时又形成了吉林特有的饮食文化.

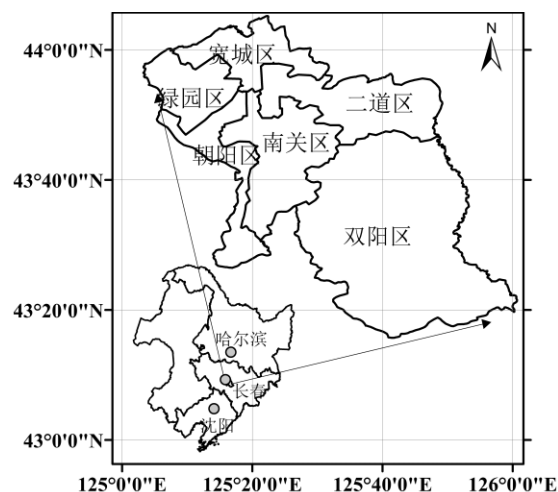


图 1 研究区域:中国东北地区 and 长春市辖区

Fig.1 Study area: Northeastern China and Changchun City

1.2 清单编制方法

1.2.1 排放量方法 采用排放因子法对长春市的家庭餐饮、社会餐饮和食堂餐饮 3 类餐饮源进行排放量的计算.基本计算公式如下^[11]:

$$E_{ij} = EF_{ij} \times A_{ij} \quad (1)$$

式中: E_{ij} 是餐饮源 $PM_{2.5}$ 或 VOC_s 的排放量; EF_{ij} 是对应的排放因子; A_{ij} 是*i*类餐饮*j*烹饪方式下的活动水平数据.

1.2.2 时空分布特征 王堃等^[22]利用 POI 数据对区域清单进行了分配,因此选择餐饮源活动 $PM_{2.5}$ 和 VOC_s 排放量以及长春市辖区行政区划数据,结合 POI 数据,利用 ARCGIS 绘制长春市辖区餐饮源 $PM_{2.5}$ 和 VOC_s 排放量 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 网格排放强度空间分布.根据东北地区餐饮活动及调查获得的人们就餐行为信息,计算家庭餐饮、社会餐饮和食堂餐饮 3 种主要餐饮活动大气污染物的时间谱(日变化、周变化和月变化).

1.2.3 不确定性分析 根据活动水平数据和排放因子数据使用加法合并和乘法合并计算排放清单各类排放源的不确定性^[23].加法合并公式如下:

$$U_{\text{total}} = \frac{\sqrt{(U_1 \times x_1)^2 + (U_2 \times x_2)^2 + \dots + (U_n \times x_n)^2}}{x_1 + x_2 + \dots + x_n} \quad (2)$$

式中: x_n 为不确定量, U_n 为相应的不确定性值(95%置信区间的一半); U_{total} 为所有量的乘积的不确定性.

乘法合并公式:

$$U_{\text{total}} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (3)$$

式中: U_{total} 为所有量的乘积的百分比不确定性; U_n 为与每个量相关的百分比不确定性(95%置信区间的一半).

活动水平信息不确定性:直接源于统计数据,不确定度为 $\pm 30\%$ ^[24].

排放因子信息不确定性:排放因子是现场测试,行业差异不大,可代表我国该类源平均水平时,不确定度为 $\pm 80\%$;如果是通过法规限值获取,法规实施效果好,但是不能代表我国该类源平均水平时,不确定度为 $\pm 300\%$ ^[24].

1.3 数据来源

本文考虑的餐饮 $PM_{2.5}$ 和 VOC_s 排放源包括家庭餐饮、社会餐饮和食堂餐饮 3 种餐饮活动.其中食堂餐饮只统计了中学食堂、高校食堂和机关单位食堂,不包括幼儿园食堂、小学食堂、宾馆食堂和工业企业食堂.

表 1 长春市辖区餐饮活动水平数据

Table 1 The basic data for cooking activities in Changchun City

家庭餐饮		社会餐饮(个)				食堂餐饮(个)	
总人口(人)	3658620	餐馆总数	5100	日韩料理	142	中学在校生	177946
总户数(户)	1381108	小吃快餐	1624	西餐	138	中学教职工	16208
小区数(个)	1120	东北菜	1230	海鲜	130	高校在校生	523552
		烧烤	814	中餐厅	86	高校教职工	166618
		火锅	432	云贵菜	79	机关单位总数	241
		川菜	310	其余	115	机关单位职工	17949

1.3.1 活动水平 数据来源中,长春市辖区的总人口、总户数数据来源于 2015 年长春统计年鉴^[25];中学、专科和本科学校的在校生以及教职工数据来源于 2014 年长春统计年鉴^[26]以及各个学校的官方网站;人均每年的食用油用量数据来源于 2014 年长春统计年鉴^[26];小区的居民总户数数据来源于长春房天下网站^[27];社会餐饮每月的消费额数据来源于国家统计局统计数据^[28];食堂餐饮和家庭餐饮的就餐行为信息来源于实地调查和参考文献^[29-31].以每人每月外出就餐 2 次^[1],来评估社会餐饮排放量.高校和中学在校生按每日 3 餐,其中中学在校生约三分之一是走读生,不计算在食堂餐饮.学校教职工和

机关单位的工人都按每人每天 1 餐来评估食堂餐饮排放量;其余为居民餐饮排放.油烟净化器的实际效率为 30%^[32].根据实地调查和相关文献^[33-34],按每户家庭 1 个炉头,抽油烟机排烟量为 $600\text{m}^3/\text{h}$,平均每天做菜时间 0.5 小时,每年 360 天计算;社会餐饮中的中小型餐饮企业在社会餐饮中占到 80%以上^[35],根据相关文献^[4,34-36],均按照中型餐馆 4 个灶头,烟气通道排放流量 $8000\text{m}^3/\text{h}$,每天的营业 4h,每年 360d 计算;根据实地调查和环评爱好者网站的问答信息^[37],以及 GB 18483 饮食业油烟排放标准^[36],对于学校食堂,按照每 150 人一个排烟量为 $2000\text{m}^3/\text{h}$ 的灶头,按照在校生每天 6h,教职工每天 1.5h 计算;对于高校食堂,

去除寒暑假,按照每年 300d 计算;对于中学食堂,去除寒暑假、双休日和国家法定节假日,按照每年 200d 计算;机关单位食堂则按照 1 个排烟量为 2000m³/h 的灶头,每天 1.5h,去除双休日和国家规定的节假日,每年 240d 来计算。

1.3.2 排放因子 不同核算方法中的排放因子差异较大,本研究排放因子数据主要来自于参考文献资料及大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南^[38],具体数值见表 2。

表 2 餐饮活动对应的 PM_{2.5} 和 VOC_s 排放因子
Table 2 Emission factors of atmospheric PM_{2.5} and VOC_s from cooking activities

参数	PM _{2.5} 排放因子	VOC _s 排放因子
按人口计算[g/(人·a)] ^[38]		3.5
按就餐次数计算		
[g/(人·次)] ^[11]	0.25	0.2
家庭餐饮	0.5	0.3
社会餐饮	0.38	0.25
食堂餐饮		
按用油量计算(g/kg) ^[11]		
家庭餐饮	8.5	7.0
社会餐饮	5.9	13.8
食堂餐饮	7.2	10.4
按灶头计算(μg/m ³)		
家庭餐饮和食堂餐饮	1320±840 ^[18]	370±450 ^[18]
以下为社会餐饮:		
家常菜(东北菜)	495±241 ^[5]	487±140 ^[6]
烤肉	1842±764 ^[5]	3494±140 ^[6]
湖南菜	331±179 ^[5]	494±289 ^[6]
山东菜	405±192 ^[5]	258±98 ^[6]
火锅店	666 ^[39]	—
餐厅小炒	493±190 ^[40]	—
餐厅蒸煮(日韩料理)	257±31 ^[40]	—
西餐	905±765 ^[41]	5790 ^[8]
川菜	1265±145 ^[3]	371±451 ^[42]
中式快餐(小吃快餐)	410 ^[39]	4280 ^[8]
其余(家常菜、山东菜和湖南菜的均值)	410±204 ^[5]	413±175 ^[6]

注:东北菜采用的家常菜的排放因子;小吃快餐采用的是街边小吃的 PM_{2.5} 排放因子、中式快餐的 VOC_s 排放因子;日韩料理采用的是餐厅蒸煮的排放因子;其余的菜系的排放因子采用的是 Wang 等 (2015) 文章中家常菜、山东菜和湖南菜的均值。

2 结果与讨论

2.1 长春市辖区餐饮源 PM_{2.5} 和 VOC_s 排放清单

2014 年长春市辖区餐饮 PM_{2.5} 和 VOC_s 年排放量分别为 182.83~770.33t 和 8.97~586.18t(表 3)。所有餐饮活动中,家庭餐饮分别贡献了总量的 74%~81%

和 28%~78%(图 2),是第一大排放源。食堂餐饮是第二大排放源,分别占 PM_{2.5} 和 VOC_s 总排放量的 8%~22%和 3%~26%。社会餐饮分别占 PM_{2.5} 和 VOC_s 总排放量的 2%~17%和 2%~69%。

表 3 2014 年长春市辖区餐饮 PM_{2.5} 和 VOC_s 排放量(t)
Table 3 The emissions of PM_{2.5} and VOC_s in Changchun City in 2014 (t)

就餐活动	按人口 计算	按就餐次 数计算		按用油量 计算		按灶头 计算	
	VOC _s	PM _{2.5}	VOC _s	PM _{2.5}	VOC _s	PM _{2.5}	VOC _s
家庭餐饮	7	571	457	259	214	138±88	39±47
食堂餐饮	1.7	168	111	54	78	15±10	4.5±5
社会餐饮	0.2	31	18	5	12	31±9	94±5
总计	9	770	586	318	304	184±107	138±57

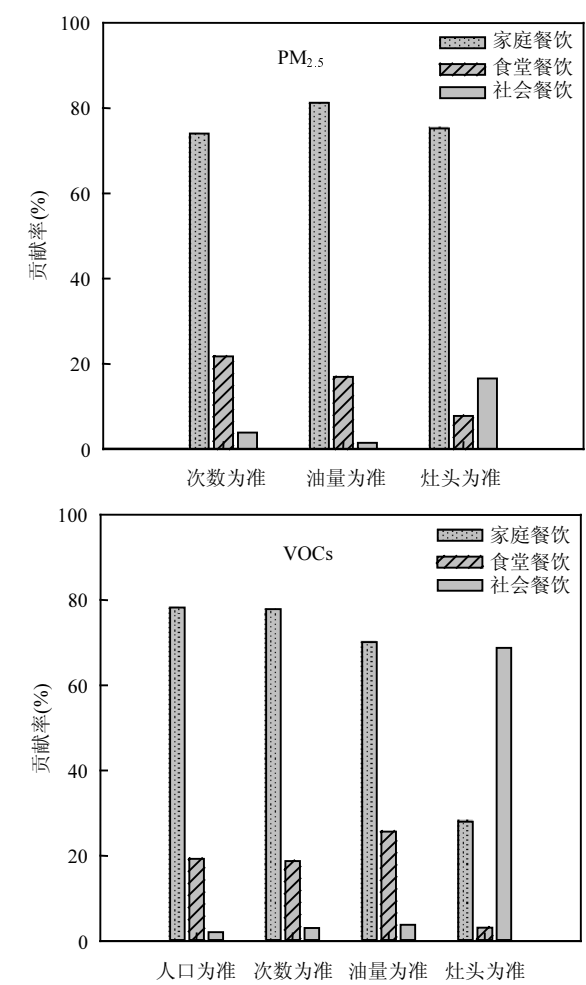


图 2 2014 年长春市辖区不同餐饮活动源对 PM_{2.5} 和 VOC_s 总排放的贡献

Fig.2 Contributions of PM_{2.5} and VOC_s emissions from each cooking activities to total emission magnitude in Changchun City in 2014

家庭餐饮和食堂餐饮 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 排放量的最大值都是出现在以就餐次数为基准核算排放量的方法中. 社会餐饮的最高值都是出现在以灶头为基准核算排放量的方法中, 原因是缺乏本地化的排放因子, 同一菜系不同文献中得到的排放因子差异较大和排放因子不齐全. 以人口为基准核算排放量的过程中, 由于 $\text{PM}_{2.5}$ 排放因子的缺失, 只计算了 VOC_s 的排放量, 并且在 3 类餐饮活动中, VOC_s 排放的最小值都是出现在该方法中, 《大气挥发性有机物排放清单编制技术指南》中直接给出以人为基准的餐饮 VOC_s 年排放系数 $3.5\text{g}/(\text{人}\cdot\text{a})$, 这和按用油量

以及按就餐人次计算的排放因子相差 6~60 倍^[1,16,21,42], 因此, 以人口为基准核算得到的排放量最低. 以就餐次数为基准核算得到的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 排放量是以油量为基准得到的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 排放量的 2.4 和 1.9 倍, 是以灶头为基准得到的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 排放量的 4.2 和 4.3 倍, 是以人口为基准得到的 VOC_s 排放量的 65.4 倍. 此外, 研究表明, 餐饮油烟 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度的 50%~85% 是 PM_1 ^[4], 这些细粒子可以长期存在于大气中, 危害性更大.

2.2 长春市辖区餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 排放空间分布

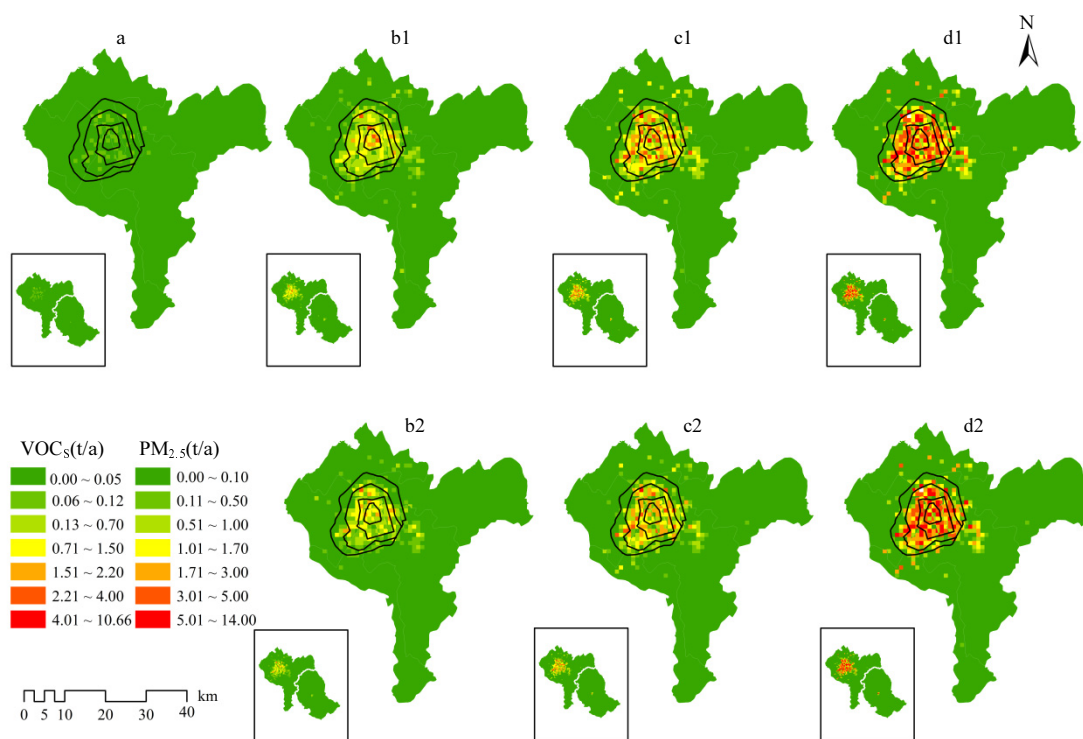


图 3 长春市辖区餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 排放总量空间分布特征

Fig.3 Spatial distribution of $\text{PM}_{2.5}$ and VOC_s emissions in Changchun City in 2014

a:按人口计算 VOC_s 排放总量;b1:按灶头计算 VOC_s 排放总量;c1:按用油量计算 VOC_s 排放总量;d1:按就餐次数计算 VOC_s 排放总量;b2:按灶头计算 $\text{PM}_{2.5}$ 排放总量;c2:按用油量计算 $\text{PM}_{2.5}$ 排放总量;d2:按就餐次数计算 $\text{PM}_{2.5}$ 排放总量

2014 年长春市辖区各个区的餐饮 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 年排放量:朝阳区为 35~162t 和 1.8~120t;二道区为 37~144t 和 1.7~113t;宽城区为 34~142t 和 1.7~108t;绿园区为 39~155t 和 1.9~121t;南关区为 35~155t 和 1.8~156t;双阳区为 2~13t 和 0.1~9t. 双阳区是长春市的一座新城(1995 年撤县设区), 面积占到长春市辖区总面积的 46.7%, 其中 66% 是耕地和林地. 双阳区的人口占市辖区总人口的 10.3%, 故双

阳区是长春餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 排放量最小的区. 双阳区餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOC_s 排放量为 2.4~13t 和 0.1~9t, 分别占总量的 1.3%~1.6% 和 1.5%~1.8%. 老城区(朝阳区、南关区、二道区、宽城区和绿园区)是长春市辖区餐饮源的主要排放源, 长春市辖区 90% 的人口都在老城区, 且居民、餐馆和企事业单位分布较为密集. 城区三环内(朝阳区和南关区的北部, 二道区的西部, 宽城区的南部以及绿园区的东部)聚集了

市辖区 85% 的餐饮点排放源,其中 65% 的高校,73% 的中学,78% 的事业单位,75% 的住宅小区和 85% 的餐馆。城区三环内餐饮源 PM_{2.5} 和 VOC_s 排放量为 111~555t 和 6~422t,分别占总量的 61%~72% 和 67%~98%。

二道区和南关区排放的 PM_{2.5} 相当,为 19%~21%;朝阳区和南关区排放的 VOC_s 相当,为 20%~22%;绿园区排放的 PM_{2.5} 最多,占排放总量的 20.1%~21.3%;朝阳区排放的 VOC_s 最多,占排放总量的 20.4%~21.6%。餐饮源大气污染物排放量在空间分布上,朝阳区>南关区>绿园区>二道区>宽城区>

双阳区。

由图 3 可以看出,不同的核算方法得到的结果之间的差别较大,以人口为基准得到的排放量<以灶头为基准得到的排放量<以用油量为基准得到的排放量<以就餐次数为基准得到的排放量。

2.3 长春市辖区餐饮源大气污染物排放时间分布

由图 4a 日变化可知,餐饮源早餐段、午餐段和晚餐段分别出现一个波峰,其排放的污染物分别占一天中排放总量的 27.6%、28.1% 和 44.3%。在 07 点,12:00 和 18:00 3 个时刻出现峰值点,分别占排放总量的 12%、11% 和 13%。

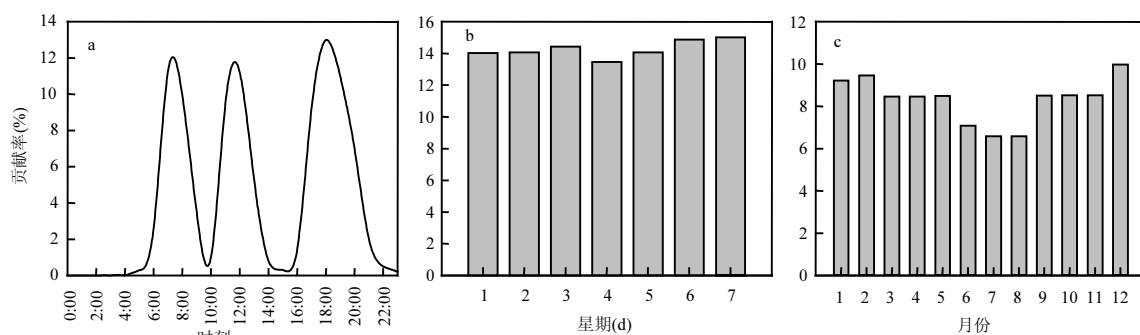


图 4 长春市辖区餐饮源大气污染物排放时间变化特征

Fig.4 Temporal variations proportion of cooking emissions in different time in Changchun City in 2014

由图 4b 周变化可见,周六和周日的排放量最多,分别占到 14.9% 和 15.0%,这是因为社会餐饮在周末的贡献比平常要高 0.8%,家庭餐饮在周末的贡献比平常高 0.9%。周一到周五的餐饮污染物排放量占比中,周三是极值点,这主要是家庭餐饮在周三的贡献率增大,调查发现,大多数家庭一周会改善两次生活,其中一次在周末,另一次在周三。社会餐饮中,周三也是周一到周五的一个极值点,周三的排放量占比一周的平均排放量占比高 0.3%。

由图 4c 月变化可见,12 月份的排放量最多,7 月和 8 月的排放量最少,分别占 9.98%、6.59% 和 6.60%,原因是冬季人们的饮食量较大且较为油腻,家庭餐饮排放量增多。夏季人们的饮食偏清淡,凉菜增多,使家庭餐饮的排放量减少。整体上是冬季排放>春季和秋季>夏季。这和人们天冷时饮食较油腻,天热饮食较清淡是一致的。1 月份和 2 月份是寒假,非长春市本地学生离校,因此,12 月份的排放量高于其他月份。2 月的排放量稍微高于 1 月,原因是 2 月的前半个月一般是春节,家庭餐饮的排放量会增大。7 月和 8

月是中学和高校的暑假,高校中非本市学生离校,排放量减少。

2.4 排放清单的不确定性分析

不确定分析是清单质控、校对和核查的重要指标之一。定量分析清单的不确定性需要参考文献的同时还需要大量的本地化监测数据和问卷调查数据。目前本文中没有本地化的实测数据。以用油量为基准、以就餐次数为基准和以灶头为基准的排放因子的不确定性是使用加法合并公式计算得出。目前我国对餐饮源排放清单和餐饮源排放清单的不确定性研究几乎为空白。餐饮源属于人为源排放,因此,活动水平信息不确定性参考《中国人为源 VOC 排放清单不确定性研究》^[23]给出的活动水平信息不确定性等级分类表的分类级别确定的不确定性。以人口为基准得到的 VOC_s 排放清单不确定最大,为 302%(表 4)。以人为基准的排放因子几乎是空白,设其误差为 300%^[23]。灶头的数是参考其它文献信息获取,设其误差为 80%^[23]。烤肉和川菜 PM_{2.5} 排放清单的不确定分别为 81% 和 122%,西餐和小吃快餐

VOC_s 排放清单的不确定为 170%,其余菜系排放清单不确定为 94%.用油量和人口信息是直接源于统计数据,设其误差为 30%.以用油量为基准得到的 PM_{2.5} 和 VOC_s 排放清单的不确定性最小,分别为 31%和 61%.

表 4 餐饮源 PM_{2.5} 和 VOC_s 的不确定性(%)
Table 4 Uncertainty of the cooking activities emission from PM_{2.5} and VOC_s (%)

污染物	以人为 基准	以灶头 为基准	以就餐次数 为基准	以用油量为 基准
PM _{2.5}		124	82	31
VOC _s	302	125	84	61

根据文献和实地调查结果,以人为基准的核算方法受个人口味、饮食风俗、习惯和年龄等的影响较大,排放因子很难统一.以就餐次数和以灶头为基准的核算方法受地区发展水平(城镇和农村)、餐饮业规模、食材、消费定位等影响较大,且会直接影响餐饮源 PM_{2.5} 和 VOC_s 的排放量.以用油量为基准的核算方法在 3 类餐饮活动中受食材、规模和消费定位的影响较小,且排放因子相对较多,统计数据的获取较为简便,核算方法相对简单,结果可靠性较大,当然具体的还需要跟实际测定进行验证.

大气污染物餐饮源排放清单丰富了清单中的污染源类型,提高了区域排放清单的准确性,可以为区域大气污染模拟提供基础数据.未来的工作将侧重于典型餐饮源本地排放因子的测定,从而有效减少排放清单的不确定性;以及对餐饮源排放清单核算方法的进一步论证,形成统一的餐饮源清单编制规范.

3 结论

3.1 2014 年长春市辖区 PM_{2.5} 总排放量为 183~770t,VOC_s 总排放量 9~586t.区域集中排放主要位于城区三环以内,其中人口密度最大的朝阳区排放最多.对 PM_{2.5} 来说,家庭餐饮在总排放中的贡献超过 3/4,对 VOC_s 来说不同方法的贡献率差异较大.餐饮源排放污染物日变化中的 3 个峰值为 07:00、12:00 和 18:00,周变化中周三和周末的排放量较大,月变化中冬季月份 1 月、2 月和 12 月的排放量较大.

3.2 餐饮源排放 PM_{2.5} 的核算中,以灶头为基准、以

就餐次数为基准和以用油量为基准的不确定性分别为 124%、82%和 31%.VOC_s 的核算中,以人为基准、以灶头为基准、以就餐次数为基准和以用油量为基准的不确定性分别为 302%、125%、84%和 61%.因此,以用油量为基准的核算方法误差最小,且数据较易获得,可以作为区域餐饮源大气污染物清单推荐方法.

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(127):364-366.

[2] Abdullahi K L, Delgado-Saborit J M, Harrison R M. Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review [J]. Atmospheric Environment, 2013,71(2):260-294.

[3] 张玉梅,张卫东,王军玲.大气 PM_{2.5} 源解析“源清单化学质量平衡法 (I-CMB)”模型的建立与应用 [J]. 大气科学学报, 2015,38(2):279-284.

[4] 温梦婷,胡 敏.北京餐饮源排放细粒子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.

[5] Wang G. Chemical Characteristics of Fine Particles Emitted from Different Chinese Cooking Styles [J]. Aerosol & Air Quality Research, 2015,15(6S):2357-2366.

[6] Wang G, Cheng S, Lang J, et al. Characterization of volatile organic compounds from different cooking emissions [J]. Atmospheric Environment, 2016,145:299-307.

[7] 谭德生,邝元成,刘 欣,等.餐饮业油烟的颗粒物分析 [J]. 环境科学, 2012,33(6):1958-1963.

[8] 崔 彤,程婧晨,何万清,等.北京市典型餐饮企业 VOCs 排放特征研究 [J]. 环境科学, 2015,36(5):1523-1529.

[9] 厉曙光,黄 昕.家庭厨房烹调油烟污染的危害 [J]. 上海预防医学, 2003,15(2):57-59.

[10] Huang Y, Ho S S, Ho K F, et al. Characteristics and health impacts of VOCs and carbonyls associated with residential cooking activities in Hong Kong [J]. Journal of Hazardous Materials, 2011,186(1):344-351.

[11] 秦之涓,毛名英,唐文雅,等.基于互联网大数据的城市餐饮源清单高时空分辨研究 [C]//秦之涓.2016 全国环境信息技术与应用交流大会暨中国环境科学学会环境信息化分会年会论文集, 2016: 140-147.

[12] Roe S M, Spivey M D, Lindquist H C, et al. National emissions inventory for commercial cooking [C]//In Proceedings of the 13th International Emission Inventory Conference, Clearwater, FL, USA, 2004:8-10.

[13] 黄丹雯.烹饪油烟影响 PM_{2.5}? [J]. 环境, 2013,(11):69-71.

[14] 北京市政府关于《北京市大气污染防治条例》实施情况的报告(书面) [J]. 北京市人大常委会公报, 2015,260(1):124-130.

[15] 程婧晨,崔 彤,何万清,等.北京市典型餐饮企业油烟中醛酮类化合物污染特征 [J]. 环境科学, 2015,36(8):2743-2749.

[16] 王桂霞,董雪玲,许立男.餐饮源排放颗粒物的污染特征 [C]//王桂霞.Proceedings of conference on environmental pollution and public

- health (CEPPH 2012). Scientific Research Publishing, USA (美国科研出版社), 2012:691-697.
- [17] 秦之涓,唐文雅,尹元畅,等.基于互联网大数据的成都餐饮源细颗粒物排放空间分配研究 [J]. 环境科学学报, 2017,38(12):4511-4518.
- [18] 尹元畅,蒋 燕,王 波,等.成都餐饮源 PM_{2.5} 及 VOCs 排放因子的探索 [J]. 环境监测管理与技术, 2015,27(5):63-67.
- [19] 李亚倩,李建军,李海娇.餐饮油烟废气污染及其净化技术进展 [J]. 四川化工, 2018,21(1):13-16.
- [20] 林 立,何校初,郭坚平,等.上海餐饮油烟污染特征研究 [J]. 环境科学与技术, 2014,(s2):546-549.
- [21] 黄继章,李伟铿,张宝春.广州市餐饮源排放研究 [J]. 广州环境科学, 2013,(2):1-2.
- [22] 王 堃,高佳佳,田贺忠,等.基于 POI 兴趣点的排放清单空间分配方法 [J]. 中国环境科学, 2017,37(6):2377-2382.
- [23] 曹国良,张小曳,龚山陵,等.中国区域主要颗粒物及污染气体的排放源清单 [J]. 科学通报, 2011,56(3):261-268.
- [24] 魏 巍,王书肖,郝吉明.中国人为源 VOC 排放清单不确定性研究 [J]. 环境科学, 2011,32(2):305-312.
- [25] 长春市统计局.长春统计年鉴-2015 [M]. 北京:中国统计出版社, 2015.
- [26] 长春市统计局.长春统计年鉴-2014 [M]. 北京:中国统计出版社, 2014.
- [27] 长春房天下.<http://changchun.fang.com/> [EB/Z]. 2017-10-14.
- [28] 餐饮收入_当期值.<http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=A01> [EB/Z]. 2017-11-1.
- [29] 陈 瑶,付 静,邵培基.四川师范大学学生食堂消费行为研究[J].管理学家:学术版, 2010,(7):10-19.
- [30] 李 静,江国虹,潘 怡,等.天津居民的就餐饮食行为调查 [J]. 营养学报, 2014,36(4):327-330.
- [31] 吴芳谷,汪 彤,陈虹桥,等.餐饮油烟排放特征 [J]. 过程工程学报, 2002,11(2):319-323.
- [32] 王秀艳,高 爽,周家岐,等.餐饮油烟中挥发性有机物风险评估 [J]. 环境科学研究, 2012,25(12):1359-1363.
- [33] Wang X, Shi J, Bai Z, et al. Measurement of VOCs emissions from cooking in the Northeast Area of China [C]//International Conference on Mechanic Automation & Control Engineering. IEEE, 2011:3212-3215.
- [34] 柳晓雷,李晓丹,熊安华,等.北京市餐饮油烟排放处理现状和治理对策研究 [C]//柳晓雷.中国环境科学学会学术年会论文集(2015), 2015:3112-3116.
- [35] 范洪铎.中小餐饮店油烟污染分析及对策 [J]. 海峡科学, 2014,(5):23-24.
- [36] 饮食业油烟排放标准(试行) [Z]. 2001.
- [37] 环评爱好者.<http://www.eiafans.com/thread-134416-2-1.html> [EB/Z]. 2017-11-13.
- [38] 大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南(试行) [Z]. 2014.
- [39] 张 腾,彭 林,李颖慧,等.餐饮源油烟中 PM_{2.5} 的化学组分特征 [J]. 环境科学研究, 2016,29(2):183-191.
- [40] 舒 熲,李云春,曹军骥.不同餐饮源的 PM_{2.5} 排放特征 [C]//2014 中国环境科学学会学术年会, 2014:1-8.
- [41] Wang L, Xiang Z, Stevanovic S, et al. Role of Chinese cooking emissions on ambient air quality and human health [J]. Science of the Total Environment, 2017,589:173-181.
- [42] 蒋 燕,尹元畅,王 波,等.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 [J]. 环境化学, 2014,(11):2005-2006.
- [43] 周子航,邓 也,陆成伟,等.成都市人为源挥发性有机物排放清单及特征 [J]. 中国环境监测, 2017,33(3):39-48.

作者简介: 吴雪伟(1991-),女,山东聊城人,中国科学院东北地理与农业生态研究所硕士研究生,主要研究方向为大气环境监测和排放清单编制。