

新乡市餐饮源 PM_{2.5} 排放清单

闫广轩¹, 杨洁¹, 张朴真¹, 雷豪杰¹, 王沛¹, 吴洪安¹, 胡慧琳¹, 李富东¹, 陈卫卫², 刘子锐³

(1.河南师范大学 环境学院;黄淮水环境污染与防治教育部重点实验室;河南省环境污染控制重点实验室,河南 新乡 453007;
2.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,长春 130102;3.中国科学院 大气物理研究所;
大气边界层物理与大气化学国家重点实验室,北京 100029)

摘要:排放清单是大气颗粒物污染源解析的一个重要手段,是提高区域环境质量的重要依据.采用自下而上的清单编制方法,分别以就餐次数、用油量和灶头为基准编制了 2018 年新乡市餐饮源 PM_{2.5} 排放清单.选用合适的活动水平和排放因子,得到新乡市中心 4 个行政区 3 种餐饮活动的年排放量.清单编制结果显示新乡市餐饮源 PM_{2.5} 年排放量为 75~303 t,3 种餐饮活动的年排放量贡献率由大到小顺序为:家庭餐饮,食堂餐饮,社会餐饮,空间分布特征显示新乡市 4 个市区年排放量大小依次为:红旗区,牧野区,卫滨区,凤泉区.此外,数据拟合结果显示餐饮源 PM_{2.5} 排放强度随人均生产总值的增加呈指数下降关系.研究结果可为新乡市餐饮源 PM_{2.5} 管控提供科学依据.

关键词:餐饮源;排放清单;空间分布;PM_{2.5}

中图分类号:X513

文献标志码:A

细颗粒物是我国大部分城市的首要污染物,细颗粒物能通过呼吸作用进入人体,在肺部发生沉积,从而对机体造成严重的损伤^[1].大量流行病学和毒理学的研究已经证实细颗粒物污染与死亡率、呼吸系统及心血管发病率等显著相关^[2].餐饮源是我国城市大气细颗粒物污染的重要来源,北京和广州排放清单数据显示餐饮源 PM_{2.5} 排放量占 PM_{2.5} 排放总量的 14% 和 12%^[3].在餐饮源排放的颗粒物中,PM_{2.5} 占总悬浮颗粒物质量的 77%^[4].研究表明,典型的我国烹饪方式的特点是高温油炸,该过程会产生大量的食用油烟雾,餐饮业 PM_{2.5} 的排放对危害人体健康有重要贡献^[5].因此,研究餐饮源 PM_{2.5} 排放特征对减少大气 PM_{2.5} 污染和保障人体健康具有重要意义.目前,针对餐饮源的研究主要集中在餐饮油烟的化学成分、理化性质、毒性效应等方面,如餐饮油烟中的 PM_{2.5} 可引发人类心血管疾病^[6];餐饮油烟中的多环芳烃(PAHs)等物质可导致癌症发病风险升高^[7];餐饮油烟中含有的二苯并芘、四氢呋喃、饱和醛等物质会对人体的生殖系统造成损伤^[4]等.现阶段对餐饮源排放清单的研究较少.提高城市大气环境质量不仅要着眼于研究污染物理化特征及危害,明确其污染源排放特征、建立城市污染源排放清单,为创建模型、加强有效的污染管控提供科学依据也至关重要.现阶段我国已有少部分城市和区域对餐饮源排放特征进行了研究,这些区域大多为发达地区、城市群的中心城市,如北京、上海、深圳等^[8-10],针对中心城市的周边城市的报道较少.已有研究得出餐饮源排放总量和排放特征存在较大的空间差异,因此提高区域环境质量应建立本地化的排放清单.新乡属于中原城市群的核心城市.近年来,新乡市灰霾天气频现,新乡市在 338 个地级市中 PM_{2.5} 年浓度均值排名均在倒数 50 以内.随着大气污染防治攻坚计划、蓝天保卫战的实施,新乡市实施工业企业限产、停产、机动车限行等政策,2016 年至 2018 年,新乡市区环境空气细颗粒物浓度年均值分别为 84、66、61 μg/m³,城市环境空气质量逐年好转,但仍超过国家《环境空气质量标准》的二级年均标准限值(35 μg/m³).在此基础上,对餐饮行业的油烟管控,可为进一步提高新乡市大气环境质量提供新的管理方向.由于新乡市油烟治理方法、技术及资金的缺陷,餐饮油烟排放问题不容忽视.新乡市餐馆分布、餐饮源类型有其独有的特征:餐馆分布集中在红旗区、牧野区这些

收稿日期:2021-01-18;**修回日期:**2021-04-29.

基金项目:国家自然科学基金(41807327)

作者简介(通信作者):闫广轩(1983—),男,河南卫辉人,河南师范大学讲师,博士,主要研究方向为大气环境与气候变化,
E-mail:xuanxuaneeeee@163.com.

行政教育规划区,在方便人们生活的同时,油烟的排放也给人体健康带来负面影响,餐饮源类型最明显的特征是快餐简餐类小型餐馆数量多、分布广、大多数为无组织排放,快餐原料涉及大量肉类和油脂,营业时间长、客流量大,排放总量不容小觑.本文对新乡市餐饮源 $PM_{2.5}$ 排放量进行了估算,编制了新乡市餐饮源 $PM_{2.5}$ 排放清单,分析了各类餐饮活动的贡献、排放清单的不确定性及空间分布特征,对于中心城市周边的同类型城市餐饮源污染排放的监管具有借鉴意义,也为该区域其他城市群的相关研究提供参考.

1 数据与方法

1.1 概况

本研究以 2018 年为基准年,研究区域为新乡市区(红旗区、牧野区、卫滨区、凤泉区).根据新乡实际情况,将新乡市餐饮 $PM_{2.5}$ 源分为社会餐饮、家庭餐饮、食堂餐饮 3 种餐饮活动,采用 3 种餐饮源清单计算方法(以用油量为基准核算、以就餐次数为基准核算、以灶头为基准核算),分析了新乡市餐饮源 $PM_{2.5}$ 排放特征.

1.2 清单编制方法

1.2.1 排放量方法

采用排放因子法对新乡市的社会餐饮、家庭餐饮和食堂餐饮 3 类餐饮源进行排放量计算.基本计算式如下^[11]:

$$E_{i,j} = EF_{i,j} \times A_{i,j}, \quad (1)$$

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

1.2.2 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.

加法合并公式如下: $U_{\text{total}} = \frac{\sqrt{(U_1 \times x_1)^2 + (U_2 \times x_2)^2 + \dots + (U_n \times x_n)^2}}{x_1 + x_2 + \dots + x_n}$, 式中, x_n 为不确定量, U_n

为相应的不确定性值, U_{total} 为所有量的乘积不确定性.

乘法合并公式: $U'_{\text{total}} = \sqrt{U'_1{}^2 + U'_2{}^2 + \dots + U'_n{}^2}$, 式中, U'_{total} 为所有量的乘积的比例不确定性; U'_n 为每个量相关的比例不确定性.

来自统计数据的不确定性,不确定度为 30%;来自文献的数据,不确定度为 80%;估计值不确定度为 100%.

1.3 数据来源

1.3.1 活动水平

具体数据见表 1.数据来源如下:新乡市区总人口、总户数、中学和高校的在校生及教职工人数、国有单位职工数来源于 2018 年新乡年鉴^[12];国有单位数是根据国有单位职工数、新乡年鉴中机关单位职工数与机关单位数的比值估算的结果;小区数来源于电子地图上的信息点(POI)数据;社会餐饮中各类餐馆个数来源于软件大众点评统计数据.计算过程中需要用到其他数据的选取如下:以就餐次数为基准计算时,以每人每月外出就餐 2 次计算社会餐饮排放量;以高校在校生每年在校 300 d 每日在校就餐 3 次,高校教职工每年在校 300 d 每日在校就餐 1 次,中学在校生每年在校 200 d 每日在校就餐 3 次,中学教职工每年在校 200 d 每日在校就餐 1 次,国有单位职工每年在单位就餐 240 d 每日在单位就餐 1 次计算食堂餐饮排放量;其余为家庭餐饮排放量.以用油量为基准核算时,家庭餐饮每人每年用油量来自 2016 年、2017 年河南统计年鉴^[13]均值,将在社会就餐天数、在食堂就餐天数与在家庭就餐天数相比得到分配系数,分配系数与家庭餐饮每人每年用油量相乘得到社会餐饮每人每年用油量和食堂餐饮每人每年用油量.以灶头为基准核算时,根据新乡实际情况以及相关文献^[11,14],以大型餐馆按 6 个灶头、烟气通道排烟量 2 000 m^3/h ,中型餐馆按 4 个灶头、烟气通道排烟量 2 000 m^3/h ,小型餐馆按 2 个灶头、烟气通道排烟量 600 m^3/h ,每个餐馆每年营业 360 d 每天营业 4 h 计算社会餐饮排放量;以每户 1 个灶头、每年 360 d、每天运行 0.5 h 计算家庭餐饮排放量;以每 150 人 1 个灶头、每个国有单位 1 个灶头、烟气通道排烟量 2 000 m^3/h ,按照在校生每天 6 h,教职工每天 1.5 h 计算食堂餐饮排放量.以上 3 种核算办法中,社会餐饮和食堂餐饮按油烟净化器的效率为 30% 计算.家庭餐饮不

考虑油烟净化设施.

表 1 新乡市辖区餐饮活动水平数据

Tab. 1 The basic data for cooking activities in Xinxiang City

餐饮活动	参数	红旗区	卫滨区	凤泉区	牧野区	餐饮活动	参数	红旗区	卫滨区	凤泉区	牧野区
社会餐饮	餐馆总数	7 454	3 119	512	4 353	家庭餐饮	总人数	373 453	231 078	145 817	324 924
	火锅店	573	270	51	344		小区数	733	418	81	535
	西餐厅	170	56	8	86		总户数	116 807	74 565	39 457	106 440
	川菜馆	296	100	13	123	食堂餐饮	中学在校生数	31 003	10 688	9 033	20 199
	露天烧烤店	18	10	0	15		中学教职工数	2 631	937	764	1 643
	非露天烧烤店	105	55	6	63		高校在校生数	139 289	3 237	0	32 644
	街边小吃店	92	36	3	50		高校教职工数	9 982	434	0	2 577
	快餐简餐店	4 928	2 046	334	2 870		国有单位数	277	168	52	204
	日韩料理店	211	74	5	126		国有单位职工数	16 697	10 100	3 110	12 279
	其他	1 061	472	92	676						

注:本文考虑的餐饮 PM_{2.5} 排放源包括社会餐饮、家庭餐饮和食堂餐饮 3 种餐饮活动,其中食堂餐饮只统计了高校食堂、中学食堂和国有单位食堂,不包括幼儿园食堂、小学食堂、宾馆食堂和工业企业食堂.

1.3.2 排放因子

本研究排放因子数据主要来自于参考文献,具体数值见表 2.

表 2 餐饮活动对应的 PM_{2.5} 排放因子

Tab. 2 Emission factor of atmospheric PM_{2.5} from cooking activities

参数	PM _{2.5} 排放因子	参数	PM _{2.5} 排放因子	参数	PM _{2.5} 排放因子
按就餐次数计算/[g·(人·次) ⁻¹]		按灶头计算/(μg·m ⁻³)		街边小吃店	409.5 ^[15]
社会餐饮	0.65 ^[11,14]	家庭餐饮和食堂餐饮	1 320 ^[14]	快餐简餐店	374.595 ^[18]
家庭餐饮	0.25 ^[11]	以下为社会餐饮		日韩料理店	257 ^[18]
食堂餐饮	0.38 ^[11]	火锅店	665.9 ^[15]	其他	475.75 ^[17]
按用油量计算/(g·kg ⁻¹)		西餐厅	905 ^[16]		
社会餐饮	7.2 ^[11,14]	川菜馆	1 446.7 ^[17]		
家庭餐饮	8.5 ^[11]	露天烧烤店	5 659.8 ^[15]		
食堂餐饮	7.2 ^[11]	非露天烧烤店	1 383.85 ^[17]		

注:社会餐饮就餐活动按就餐次数和按用油量计算的排放因子是参考文献[11,14]的均值;日韩料理排放因子来自参考文献[18]的餐厅蒸煮;其他排放因子来自参考文献[17]中家常菜、山东菜、湘菜、粤菜的均值.

2 结果与讨论

2.1 新乡市区餐饮源 PM_{2.5} 排放清单

2018 年新乡市区餐饮源 PM_{2.5} 年排放总量为 75~303 t(表 3).根据参考文献[19]和表 4,新乡市餐饮源 PM_{2.5} 排放强度为西安市的 12 倍,可见新乡市餐饮源污染管控的重要性.不同核算方法得到的 PM_{2.5} 年排放总量差别较大,以就餐次数为基准核算的年排放总量分别是以用油量为基准和以灶头为基准核算的年排放总量的 2.5 倍和 4 倍.不同核算方法得到不同餐饮活动排放量的最大值均出现在家庭餐饮这一餐饮活动,同时家庭餐饮对 PM_{2.5} 排放总量的贡献率为 63%~78%,食堂餐饮和社会餐饮贡献率依次为 7%~35%和 2%~30%(见图 1),说明 PM_{2.5} 排放贡献最大的餐饮活动为家庭餐饮.以就餐次数和以用油量为基准的核算方法显示排放量最低的餐饮活动是社会餐饮,以灶头为基准的核算方法违背了这一规律且社会餐饮排放量的最大值出现在以灶头为基准的核算方法中,原因可能与来自软件大众点评统计的活动水平数据有误差、社会餐饮中不同菜系餐馆缺乏本地化排放因子有关.

表3 2018年新乡市辖区餐饮PM_{2.5}排放量

Tab. 3 The emissions of PM_{2.5} in Xinxiang City in 2018

就餐活动	按就餐次数计算	按用油量计算	按灶头计算	就餐活动	按就餐次数计算	按用油量计算	按灶头计算
社会餐饮	11.74	1.95	22.22	食堂餐饮	53.53	41.87	5.14
家庭餐饮	237.59	75.86	48.08	总量	302.87	119.67	75.45

表4 人均生产总值、人口密度与排放强度

Tab. 4 GDP per capita, population density and emission intensity

地区	凤泉区	卫滨区	牧野区	红旗区	新乡市	西安市
人均生产总值/(万元·人 ⁻¹)	6.33	5.44	5.09	4.65	5.18	8.51
人口密度/(人·km ⁻²)	1 268	3 611	3 282	2 425	2 489	991
排放强度/(kg·人 ⁻¹)	0.074	0.077	0.097	0.160	0.111	0.009

注:西安市餐饮源PM_{2.5}排放量来自参考文献[19].

2.2 排放清单的不确定性分析

本文3种核算方法的比例不确定性均是由乘法合并公式和加法合并公式计算得出,对于来自参考文献的数据给定不确定性为80%,对于来自统计年鉴的数据给定不确定性为30%,对于估算值给定不确定性为100%,给定比例不确定性值见表5.计算结果(表6)表明,以灶头为基准的核算方法不确定性为61%;以就餐次数为基准的核算方法不确定性为56%;以用油量为基准的核算方法不确定性为47%.以灶头和就餐次数为基准的核算方法受地区发展水平、餐饮规模、食材、消费定位等影响较大,会直接影响PM_{2.5}的排放量,以用油量为基准的核算方法受食材、规模、消费定位的影响相对较小,结果相对更准确^[3].本文排放清单不确定性产生的原因有:1)缺乏反映本地排放特征的排放因子;2)数据代表性不好,使用活动水平数据时采用估计值不能真实代表估算对象的排放特征;3)对排放因子选取缺乏认识,导致在排放因子确定时带来估算的不确定性.

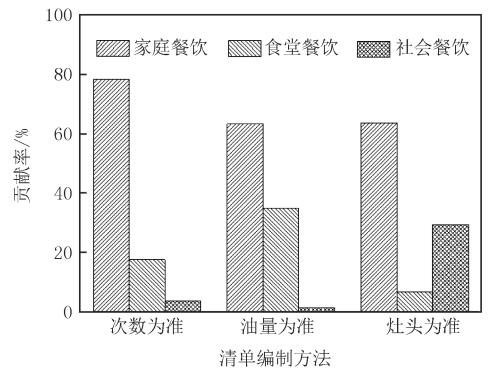


图1 2018年新乡市辖区不同餐饮活动源对PM_{2.5}总排放量的贡献率
Fig.1 Contributions of PM_{2.5} emissions from each cooking activities to total emission magnitude in Xinxiang City in 2018

表5 比例不确定性给定值

Tab. 5 The given value of percentage uncertainty

参数	排放因子	人数	一年的就餐次数	一年的用油量	灶头排烟量	灶头运行时间	灶头个数
社会餐饮/%	80	30	100	100	80	100	80
家庭餐饮/%	80	30	100	30	80	100	30
食堂餐饮/%	80	30	100	100	80	100	100

2.3 新乡市辖区餐饮源PM_{2.5}排放空间分布特征

2.3.1 空间分布特征

以不确定性最小的以用油量为基准的核算结果评估新乡市区餐饮源PM_{2.5}排放空间分布特征,用ArcMap 10.2作图结果见图2.餐饮源大气污染物排放量在空间分布上由大到小依次为:红旗

表6 餐饮源PM_{2.5}的不确定性

Tab. 6 The uncertainties of PM_{2.5} from cooking activities emission

参数	以灶头为基准	以就餐次数为基准	以用油量为基准
不确定性/%	61	56	47

区,牧野区,卫滨区,凤泉区,与地区人口大小趋势一致.红旗区,牧野区,卫滨区,凤泉区餐饮源PM_{2.5}年排放总量分别为60 t,32 t,18 t,11 t;分别占新乡市辖区餐饮源PM_{2.5}年排放总量的50%,26%,15%,9%.

2.3.2 相关性分析

大气 PM_{2.5} 排放量空间分布差异主要与经济产值、土地利用面积和人口数量等因素密切相关。本文将餐饮业源 PM_{2.5} 排放量(以用油量为基准核算结果)与人口进行比值得到排放强度、尝试发现餐饮业源 PM_{2.5} 排放强度与人均生产总值、人口密度的关系。利用表 4 数据进行函数拟合,结果见图 3、图 4。数据表明:人均生产总值越高的地区(即经济越发达的地区),餐饮业源 PM_{2.5} 排放强度越低,人均生产总值与排放强度呈指数关系(R^2 为 0.95);随着人口密度的增加,排放强度先增后减,人口密度与排放强度的相关性不明显(R^2 为 0.88)。此结果可作为参考,以经济发展水平为标准对比不同城市和地区餐饮业源 PM_{2.5} 排放强度。

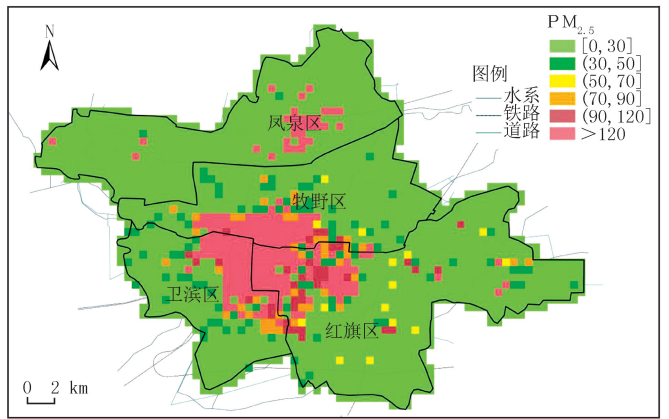


图2 新乡市区餐饮业源PM_{2.5}排放空间分布特征

Fig.2 The spatial distribution of PM_{2.5} from cooking emissions in Xinxiang city

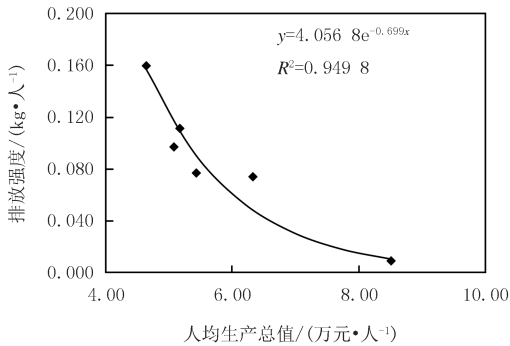


图3 人均生产总值与排放强度的数据拟合

Fig.3 Data fitting of GDP per capita and emission intensity

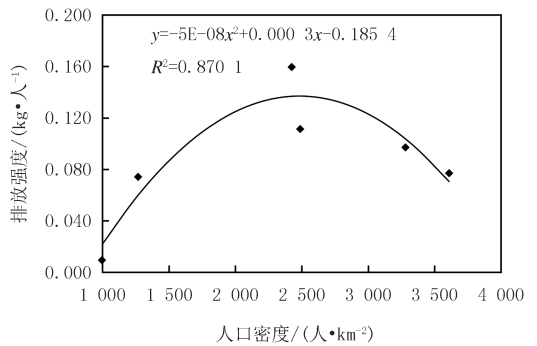


图4 人口密度与排放强度的数据拟合

Fig.4 Data fitting of population density and emission intensity

2.4 新乡市社会餐饮活动 PM_{2.5} 排放特征

新乡市区社会餐饮活动 PM_{2.5} 排放清单(表 7)表明,细颗粒物排放量最大的餐馆类型为火锅,其次为快餐简餐,贡献率分别为 33.2%和 30.1%,二者排放总量占总排放量的 63%,建议作为新乡市餐饮行业大气 PM_{2.5} 污染防治重点管控行业。火锅店与快餐简餐店面数量分别占新乡市餐馆总数的 8.0%和 65.9%,火锅店店面规模以中型为主,快餐简餐店面规模以小型为主,根据火锅店店面规模大、数量少的特征,加强火锅店面油烟净化效率将是今后餐饮业源 PM_{2.5} 污染管控的主要方向。

表 7 新乡市社会餐饮活动 PM_{2.5} 排放清单

Tab. 7 PM_{2.5} emission inventory of commercial cooking activities in Xinxiang City

餐馆类型	排放量/(kg·a ⁻¹)	贡献率	餐馆个数	餐馆类型	排放量/(kg·a ⁻¹)	贡献率	餐馆个数
火锅店	7 387	33.2%	1 238	街边小吃(烤、炸)店	128	0.6%	181
西餐厅	740	3.3%	320	快餐简餐店	6 687	30.1%	10 178
川菜馆	2 180	9.8%	532	日韩料理店	368	1.7%	416
露天(烤串)店	421	1.9%	43	(江河湖海鲜、小龙虾、日本菜、韩国料理)			
非露天(烧烤)店	1 143	5.1%	229	其他	3 169	14.3%	

3 新乡市餐饮业源 PM_{2.5} 减排建议

3.1 新乡市餐饮业排放空间

按照河南省餐饮业油烟污染物排放标准^[20](表 8),结合表 1、表 2 根据(1)式计算环境容量,推断出按照排放标准新乡市餐饮业每年可排放 41 t 的油烟。2018 年新乡市餐饮业排放 PM_{2.5} 总量为 22 t(表 3),由此可

知,从污染管控的角度,新乡市餐饮业油烟排放量未饱和。

表 8 餐饮服务单位油烟浓度排放限值

Tab. 8 Emission limits of lampblack concentration in cooking activity

污染物项目	排放限值/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)		
	小型	中型	大型
油烟	1.5	1.0	1.0

注:此标准中污染物排放位置为排风管或排气筒。

3.2 减排建议

1)对于贡献率大的家庭餐饮和食堂餐饮以及规模大数量少的火锅店面,提高油烟净化设备效率是关键。

2)对于餐馆数量多、排放量大、分布散乱的快餐简餐类型餐饮,建议建设小吃街,以便于集中管理、使用统一燃料、规范净化设备、集中营业时间,制定针对性的减排任务和控制措施。

4 结 论

2018年新乡市区餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 年排放总量为 75~303 t。按就餐次数计算、按用油量计算、按灶头计算得到的排放总量分别为 302.87 t, 119.67 t, 75.45 t, 3种核算方法的不确定性分别为 56%, 47%, 61%。3种餐饮活动(家庭餐饮,食堂餐饮,社会餐饮) $\text{PM}_{2.5}$ 年排放总量分别为 48~238 t, 5~54 t 和 2~22 t, 对 $\text{PM}_{2.5}$ 排放总量的贡献率分别为 63%~78%, 7%~35% 和 2%~30%, 贡献最大的餐饮活动为家庭餐饮。新乡市 4 个区(红旗区,牧野区,卫滨区,凤泉区)餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 年排放总量分别为 60 t, 32 t, 18 t, 11 t; 分别占新乡市区餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 年排放总量的 50%, 26%, 15%, 9%。将人口密度、人均生产总值与餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 排放强度进行数据拟合,发现人均生产总值与餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 排放强度呈指数关系。新乡市社会餐饮活动 $\text{PM}_{2.5}$ 排放特征表明,细颗粒物排放量最大的餐馆类型为火锅,其次为快餐简餐,其年排放量分别为 7 387 kg 和 6 687 kg, 贡献率分别为 33.2% 和 30.1%, 研究结果可为新乡市餐饮 $\text{PM}_{2.5}$ 管控提供科学依据。

参 考 文 献

- [1] MA K X, LI C L, XU J B, et al. LncRNA Gm16410 regulates $\text{PM}_{2.5}$ -induced lung Endothelial-Mesenchymal Transition via the TGF- β 1/Smad3/p-Smad3 pathway[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, 205: 111327.
- [2] YU Z B, MAO X L, TANG M L, et al. Association between past exposure to fine particulate matter ($\text{PM}_{2.5}$) and peptic ulcer: a cross-sectional study in Eastern China[J]. *Chemosphere*, 2021, 265: 128706.
- [3] 吴雪伟, 陈卫卫, 王堃, 等. 长春市餐饮源 $\text{PM}_{2.5}$ 和 VOCS 排放清单[J]. *中国环境科学*, 2018, 38(8): 2882-2889.
WU X W, CHEN W W, WANG K, et al. $\text{PM}_{2.5}$ and VOCS emission inventories from cooking in Changchun City[J]. *China Environmental Science*, 2018, 38(8): 2882-2889.
- [4] 李旭, 李晓丹. 餐饮油烟对人体健康的危害[J]. *节能与环保*, 2019(2): 28-29.
LI X, LI X D. Harm of cooking fume on human health[J]. *Energy Conservation and Environment Protection*, 2019(2): 28-29.
- [5] JIN W J, ZHI G R, ZHANG Y Z, et al. Toward a national emission inventory for the catering industry in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 754: 142184.
- [6] GABDRASHOVA R, NURZHAN S, NASERI M, et al. The impact on heart rate and blood pressure following exposure to ultrafine particles from cooking using an electric stove[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 750: 141334.
- [7] XU H M, TA W Y, YANG L, et al. Characterizations of $\text{PM}_{2.5}$ -bound organic compounds and associated potential cancer risks on cooking emissions from dominated types of commercial restaurants in northwestern China[J]. *Chemosphere*, 2020, 261: 127758.
- [8] 王红丽, 景盛翔, 楼晟荣, 等. 餐饮行业细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 排放测算方法: 以上海市为例[J]. *环境科学*, 2018, 39(5): 1971-1977.
WANG H L, JING S G, LOU S R, et al. Estimation of fine particle ($\text{PM}_{2.5}$) emission inventory from cooking: case study for Shanghai[J]. *Environmental Science*, 2018, 39(5): 1971-1977.
- [9] 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.
CHENG J C, CUI T, HE W Q, et al. Pollution characteristics of aldehydes and ketones compounds in the exhaust of Beijing typical restaurants[J]. *Environmental Science*, 2015, 36(8): 2743-2749.
- [10] 赵紫微, 童梦雪, 李源遽, 等. 深圳市餐饮源排放颗粒物的特征[J]. *环境化学*, 2020, 39(7): 1763-1773.
ZHAO Z W, TONG M X, LI Y J, et al. Characteristics of particulate matters emitted from cooking in Shenzhen[J]. *Environmental Chem-*

- istry,2020,39(7):1763-1773.
- [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]//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.北京:《中国环境管理》杂志,2016.
- [12] 新乡市统计局.2018年新乡市统计年鉴[EB/OL].[2020-09-12].<http://tj.j.xinxiang.gov.cn/viewCmsCac.do?cacId=ff8080814ecd08ed014ecd49de15012a>.
- [13] 河南省统计局.2017年河南统计年鉴[EB/OL].[2020-09-12].<http://www.ha.stats.gov.cn/tjfw/tjcbw/tjnj/>.
- [14] 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].环境监测管理和技术,2015,27(5):63-67.
YIN Y C,JIANG Y,WANG B,et al.The study on fine particles and VOCs emission factor of cooking activities in Chengdu[J].The Administration and Technique of Environmental Monitoring,2015,27(5):63-67.
- [15] 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.
ZHANG T,PENG L,LI Y H,et al.Chemical characteristics of PM_{2.5} emitted from cooking fumes[J].Research of Environmental Sciences,2016,29(2):183-191.
- [16] WANG L N, XIANG Z Y, 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.
- [17] 李勤勤,吴爱华,龚道程,等.餐饮源排放 PM_{2.5} 污染特征研究进展[J].环境科学与技术,2018,41(8):41-50.
LI Q Q,WU A H,GONG D C,et al.Characteristics of PM_{2.5} emitted from cooking emissions;a review[J].Environmental Science & Technology,2018,41(8):41-50.
- [18] 舒嫚,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论文集.成都:[出版者不详],2014:479-484.
- [19] 闫东杰,丁毅飞,玉亚,等.西安市人为源一次 PM_{2.5} 排放清单及减排潜力研究[J].环境科学研究,2019,32(5):813-820.
YAN D J,DING Y F,YU Y,et al.Inventory and reduction potential of anthropogenic PM_{2.5} emission in Xi'an City[J].Research of Environmental Sciences,2019,32(5):813-820.
- [20] 河南省质量技术监督局.餐饮业油烟污染物排放标准:DB 41/1604—2018[S].郑州:河南省环保厅,2018.

PM_{2.5} emission inventory from cooking in Xinxiang

Yan Guangxuan¹, Yang Jie¹, Zhang Puzhen¹, Lei Haojie¹,
Wang Pei¹, Wu Hongan¹, Hu Huilin¹, Li Fudong¹, Chen Weiwei², Liu Zirui³

(1.School of Environment, Key Laboratory for Yellow River and Huai River Water Environment and Pollution Control, Ministry of Education, Henan Key Laboratory for Environmental Pollution Control, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China; 2.Chinese Academg of Science, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Changchun 130102, China; 3.Chinese Academg of Science, Institute Atmosphere Physics, State Key Laboratory Atmosphere Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Beijing 100029, China)

Abstract: Emission inventory is one of crucial means for the pollution source apportionment of atmospheric particles to improve regional environmental quality. In this study, using bottom-up method(based on dining out frequency, the amount of oil and the stove), the PM_{2.5} inventory from cooking activity was estimated in Xinxiang in 2018. The annual emission from three cooking activities in four urban areas of Xinxiang were estimated by using emission factor and cooking activity data. The results showed that the total annual emission of cooking is 75-303 t. The contributions of the three categories in descending order are resident cooking, cafeteria cooking, commercial cooking. The spatial distribution shows that annual emission of four urban areas in descending order is Hongqi, Muye, Weibin, Fengquan. Furthermore, a significant negative exponential relationship was found between GDP per capita and PM_{2.5} emission intensity. The results could provide scientific basis for cooking PM_{2.5} control in Xinxiang.

Keywords: cooking source; emission inventory; spatial distribution; PM_{2.5}

[责任编辑 赵晓华 陈留院]