

万州城区 PM_{2.5} 中有机碳与元素碳污染特征*

黄怡民, 付川, 张六一, 覃小莉, 张琪晨, 吴炳煜

(三峡库区水环境演变与污染防治重庆高校市级重点实验室, 重庆 404000)

摘要:为了解重庆万州区 PM_{2.5} 中碳质气溶胶的污染特征,于2012—2013年分4个季节采集了 PM_{2.5} 样品,并分析了其中有机碳(OC)和元素碳(EC)的浓度。结果显示,在采样期间,万州区 PM_{2.5} 中 OC 和 EC 的年平均质量浓度分别为 29.72 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 8.42 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, OC 和 EC 浓度之和达 PM_{2.5} 的 27.25%。OC 浓度的季节变化趋势由高到低分别为冬季、秋季、春季和夏季,EC 在冬季浓度最高,其他季节浓度变化不大。OC 和 EC 在4个季节都有较好的相关性(r 为 0.67~0.84),其中,冬季相关性($r=0.84$)最高,秋季相关性($r=0.67$)最差,这与污染物来源复杂有关。应用 OC/EC 比值法对二次有机碳(SOC)进行估算,SOC 年平均浓度为 13.79 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,占 OC 含量的 46.72%,冬季 SOC 的浓度远高于其他季节,冬季较高的 OC 排放及较低的大气扩散能力利于碳气溶胶中 SOC 的生成。

关键词:PM_{2.5};有机碳;元素碳;二次有机碳

中图分类号:X513

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2015)05-0062-06

碳质组分是气溶胶中重要的成分,约占到大气细颗粒物(PM_{2.5})的 20%~40%左右^[1-2],碳质组分通常以无机碳(Elemental carbon, EC)和有机碳(Organic carbon, OC)的形式存在。EC 主要来源于化石燃料和生物质的不完全燃烧并由污染源直接排放,因此 EC 只存在于由污染源直接排放的一次气溶胶中。EC 具有强吸光性,可降低大气中的能见度,也是造成全球变暖的主要因素之一^[3-4]。OC 是成百上千种有机化合物的混合物,其中一些有机物具有致畸、致癌、致突变的作用,如 PAHs、二噁英等,对人体健康产生了巨大的危害;OC 同时还具有散射性,影响多种气溶胶与云的相互作用,可间接影响气候变化^[5]。OC 除来自燃烧源的直接排放外,还来自挥发性有机气体在大气中经光化学氧化生成。由于碳质气溶胶对气候、大气能见度和人体健康等都有着重要的影响,因此本研究是当前大气化学研究的主要热点之一。

目前,国内学者对我国的 PM_{2.5} 中的含碳物质的研究已开展了大量的工作,但研究主要集中在北京^[6]、上海^[1,7]、广州^[8]、西安^[9-10]等一些大城市,而对西南部的中小城市气溶胶中碳质组分的研究相对较少,部分地区尚未起步,这些地区的环境状况及对人体健康的影响无从得知。近年来,万州正在加快重庆市第二大城市的建设,随着工业规模日益增大,人口逐渐增多,汽车保有量也逐年增加,大气颗粒物成为影响该区域空气质量和危害人体健康的主要污染物之一,然而,目前尚未见到对万州区大气颗粒物及其组分的研究报道。因此,本研究拟对万州城区大气中的 PM_{2.5} 进行采集,分析其中 OC 和 EC 的浓度变化特征,以期对三峡库区城市建设及管理提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

万州区地处重庆市东北部、三峡库区腹心,距重庆市主城区 228 km,位于 107°55'22"~108°53'25"E 与 30°24'

* 收稿日期:2014-11-26 修回日期:2015-05-26 网络出版时间:2015-05-15 12:44

资助项目:三峡库区水环境演变与污染防治重庆高校市级重点实验室开放基金项目(No. WEPKL2012QN-04);重庆市万州区科委项目(No. 201303049);重庆三峡学院 2013 年度大学生创新性实验计划项目

作者简介:黄怡民,讲师,研究方向为大气环境与大气化学,E-mail:huangyimin_1986@126.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20150515.1244.016.html>

25°~31°14'58"N 之间。万州境内多山少平地,城市建设区面积 57.6 km²,城区人口 80 万人,是重庆主城以外的最大中心城市。万州属亚热带湿润季风气候区,冬暖多雾,夏季炎热,春早秋长。万州是全国风速最小地区之一,全年平均风速仅为 0.6 m·s⁻¹。多年平均气温 18.1 °C,多年平均降雨量 1 181.5 mm,且多集中在 5~9 月,约占全年降雨量的 60%~70%^[11]。

1.2 样品采集

采样地点设在重庆万州区重庆三峡学院 S 教 8 楼楼顶,该站点为重庆三峡学院与中国科学院重庆绿色智能技术研究院联合建立的大气观测基站,距离地面 27 m。采样点东侧和北侧环绕着交通繁忙路段沙龙路二段,东南侧约 300 m 处正在修建银河·学林上城第三期工程尾期。采样点属于商业、餐饮、居民的混合点,由于附近有施工工地、公路和餐馆(部分以燃煤为主),所以采样点受到一定的扬尘、交通源和餐饮源的共同影响。采样仪器为 HY-100 多功能智能采样器(青岛恒远科技发展有限公司生产),配有 HY100 型 PM_{2.5} 颗粒物切割器,采样流量为 100 L·min⁻¹。采样滤膜为直径 90 mm 的玻璃纤维膜。采样时间为 2012 年 11 月,2013 年 1 月、4 月、7 月,分别代表秋、冬、春、夏季。采样频率为每 3 天采集一次,每个样品连续采样 24 h(8:00~次日 8:00),共获得有效滤膜 38 张。采样同时,记录采样时段气象数据,见表 1。采样前先将玻璃纤维膜在 450 °C 的马弗炉中灼烧 2 h,以去除膜上残留碳和其他物质。采样前后将滤膜置于温度为 20 °C 和相对湿度为 45% 的恒温恒湿天平室中平衡 48 h,然后用灵敏度为 1 μg 的电子天平(Sartorius,德国)称量前后膜重,根据采样前后滤膜的质量差计算出样品滤膜上的样品净重。

1.3 分析方法

有机碳(OC)和元素碳(EC)的测定使用 EA 3 000 元素分析仪(EuroVector,意大利)。本研究的分析方法是根据迟旭光^[12]的方法改进而来,分析过程为:截取 0.49 cm² 的圆形采样滤膜用锡箔包好后投入到燃烧管中,在 980 °C 氮、氧混合气中氧化,碳被氧化成为 CO₂,通过气相色谱柱分离出来,最后用热导检测器(TCD)测得含碳量,即为总碳(Total carbon, TC)含量;另取 0.49 cm² 的滤膜,在其他条件相同的情况下,在 500 °C 测定碳值,即为 OC 含量;EC 含量为两者之差,即 EC=TC-OC。

2 分析与讨论

2.1 OC 与 EC 的浓度水平

由表 2 可知,PM_{2.5} 中 OC 的浓度一般都高于 EC,它们的变化幅度都很大。PM_{2.5} 中 OC 的质量浓度的平均值为(29.72±27.84) μg·m⁻³,变化范围为 5.50~131.10 μg·m⁻³。EC 的质量浓度的平均值为(8.42±8.50) μg·m⁻³,变化范围为 1.89~41.58 μg·m⁻³。OC 和 EC 分别占到 PM_{2.5} 质量浓度的 21.23% 和 6.02%,TC 占到 PM_{2.5} 质量浓度的 27.25%,可见碳组分是 PM_{2.5} 的重要成分之一。

PM_{2.5} 中 OC 的质量浓度随季节变化显著,冬季最高,质量浓度达到 60.49 μg·m⁻³,其次为秋季(32.28 μg·

表 1 采样期间气象数据

| | 温度/(°C) | 相对湿度/% | 风速/m·s ⁻¹ |
|----|-----------|-----------|----------------------|
| 秋季 | 9.5~15.0 | 62.0~83.3 | 0.4~1.4 |
| 冬季 | 4.2~10.7 | 66.3~79.2 | 0.6~1.5 |
| 春季 | 17.4~23.4 | 50.0~80.2 | 1.1~3.1 |
| 夏季 | 29.5~34.1 | 51.0~85.0 | 1.0~1.2 |

表 2 观测期间 PM_{2.5} 中 OC、EC、TC 和 OC/EC 的均值

| | OC/μg·m ⁻³ | EC/μg·m ⁻³ | TC/μg·m ⁻³ | OC/EC |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 秋季 | 32.28±10.73 | 4.71±1.99 | 36.99±12.16 | 7.35±2.04 |
| 冬季 | 60.49±35.45 | 18.61±11.53 | 79.10±45.59 | 4.43±5.15 |
| 春季 | 14.96±6.60 | 4.70±1.70 | 19.66±7.89 | 3.31±1.07 |
| 夏季 | 7.45±1.35 | 4.94±0.99 | 12.39±2.18 | 1.52±0.21 |
| 全年 | 29.72±27.84 | 8.42±8.50 | 38.14±35.41 | 4.24±3.51 |

m^{-3}),而春季($14.96 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)和夏季($7.45 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)的浓度相对较低。其中冬季 OC 质量浓度远高于夏季,是夏季的 8.12 倍。EC 浓度值($18.61 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)也在冬季最高,其他 3 个季节浓度变化不大。造成万州 OC 和 EC 的这种季节变化特征主要是由气象条件变化与排放源不同 2 个因素共同引起的。万州风速在冬季最低,平均风速仅为 $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,大气扩散能力差且雨少,又多发雾霾天气,使得污染物不宜扩散;冬季温度低,机动车的启动时间变长了,增加了尾气排放量^[13],再加上拥挤的交通使得机动车行驶速度低,燃料燃烧不充分^[14];另外学校附近居民冬季燃烧树叶、垃圾等,共同造成冬季 OC 和 EC 浓度最高。秋季万州逆温天气出现的频率较高,污染物聚集在近地层,不易扩散,还有周边的秸秆焚烧对大气中 OC 的贡献较大,但秸秆焚烧对 EC 影响很小^[13]。春季万州风速较高,平均风速为 $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,促进了大气污染物的水平扩散,导致春季 OC 和 EC 浓度水平相对减少。夏季万州多降雨,夏季降雨量约占到全年降雨量(181.5 mm)的一半,对污染物有一定的清除作用,并且夏季有利的大气扩散条件利于污染物的扩散,因此 OC 和 EC 的浓度在夏季较低。

与其他城市的相比较(表 3),万州区的 OC 的浓度要高于北京、天津、成都和石家庄,秋季和冬季的观测值与西安相当。EC 浓度值稍低于石家庄与成都,但高于北京和天津。本研究的 OC 值与同属于重庆的区县铜梁区的观测值相近,EC 稍低于铜梁。与 Yang 等^[15]2005 年 3 月—2006 年 2 月在重庆的观测值相比,OC 的浓度值相差不大,而 EC 的浓度值要高于重庆主城区,这可能与本研究所采用的热分析法未对 OC 在受热过程中可能形成的热解碳校正,导致 EC 结果偏高

有关^[16]。总体来看,万州区大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中碳气溶胶污染较重,这主要与重庆地区能源消费结构以煤为主(煤炭所占比重约为 65%)有关,在煤的使用过程中除产生大量的酸性物质外,还会排放大量的含碳物质,再加上万州近几年加大力度建设经济开发区,随着入驻的化工、能源等企业的增多,也会造成有机物的排放增多。另外,万州的山谷地形不利于污染物的扩散,这些因素都会加重万州大气中碳污染水平。

2.2 OC 和 EC 的相关性及 OC/EC 比值的分析

对碳组分和大气细粒子质量浓度进行相关性分析,结果表明 $\text{PM}_{2.5}$ 与 EC 和 OC 都具有较好的相关关系,相关系数分别达到了 0.86 和 0.93,这说明万州 EC、OC 和 $\text{PM}_{2.5}$ 有相似的来源,同时也说明产生 EC、OC 的来源如机动车、燃煤等对万州 $\text{PM}_{2.5}$ 的贡献很大。

如前所述,碳质气溶胶来源复杂,EC 直接来自于含碳燃料的不完全燃烧,具有较好的稳定性,在大气中不易发生转化,是表征一次性人为大气污染的一项指标,而 OC 除来源于化石燃料燃烧的直接排放外,还存在二次来源,二次来源的碳(Secondary OC, SOC)主要来源于有机气体在大气中发生光化学氧化生成。因此,可以通过 OC 和 EC 的相关性来判断颗粒物的来源。在研究期间,万州 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC 和 EC 的相关性 r 达到 0.86 ($P < 0.01$),说明两者可能具有相同的来源。由于不同的季节源排放具有差异性,因此对不同季节的 OC 和 EC 分别进行了相关性分析,见图 1。图 1 中,冬季($r = 0.84$)、春季($r = 0.71$)和夏季($r = 0.74$)相

表 3 不同地区 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC 与 EC 值

| Tab. 3 OC and EC concentrations in $\text{PM}_{2.5}$ at different sites $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ | | | | |
|---|----------------------|-----------|-----------|------|
| 采样地 | 采样时间 | OC | EC | 文献 |
| 北京 | 2009.4~2010.2 | 18.2 | 6.3 | [6] |
| 天津 | 2009.4~2010.2 | 18.8 | 6.9 | [6] |
| 石家庄 | 2009.4~2010.2 | 26.4 | 9.7 | [6] |
| 成都 | 2009.4~2010.1 | 22.3 | 9.0 | [17] |
| 西安 | 2003.9.13~2003.10.31 | 34.1 | 11.3 | [10] |
| | 2003.11.1~2004.2.29 | 61.9 | 12.3 | |
| 铜梁,重庆 | 2002.3.2~2003.2.26 | 30.8~42.6 | 9.70~12.2 | [18] |
| 重庆 | 2005.3~2006.2 | 30.1 | 6.4 | [15] |
| 万州,重庆 | 2012.11~2013.7 | 29.7 | 8.4 | 本研究 |

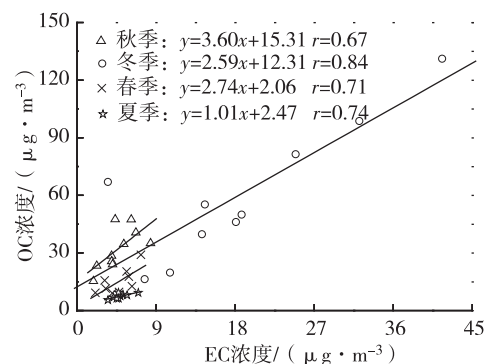


图 1 不同季节 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC 与 EC 相关性

Fig.1 Seasonal correlations of OC and EC in $\text{PM}_{2.5}$

相关性都较好,说明这3个季节 OC 和 EC 有相似来源,如来自一次源的排放或污染物的远距离输送等;秋季相关性稍差, r 为 0.67,说明秋季碳气溶胶来源相对复杂,可能是受到光化学过程等因素的影响,OC 中除了一次有机碳外还有其他来源,从图 1 中也可以看出,秋季拟合曲线的截距最大,表明秋季 OC 和 EC 除来自燃烧源外,还有其他非燃烧源,如扬尘和二次有机碳气溶胶的生成。

OC/EC 的比值常用来评价颗粒物的来源和排放特征。当 OC/EC 的值为 1.0~4.2 时,说明存在机动车尾气的排放^[19],1.9 为船舶尾气尘^[20],当比值为 2.5~10.5 时为燃煤燃烧排放^[21],4.3~79.7 时为生物质燃烧^[22]。本研究中 OC/EC 的值波动较大,变化范围为 1.32~18.99,平均值为 4.24。秋、冬、春、夏的比值分别为 7.35,4.43,3.31 和 1.52,说明秋季 OC 和 EC 可能来源于生物质的燃烧,冬季和春季主要来源于燃煤燃烧、机动车尾气排放和船舶尾气尘,而夏季则主要来源于汽车尾气排放。

2.3 二次有机碳(SOC)的估算

最小 OC/EC 比值法是现阶段广泛使用来估算大气中 SOC 的方法之一,它是以 EC 作为一次排放的示踪物,由环境中测得的 OC 与 EC 的最小比值来确定 SOC 的量。SOC 的浓度可以采用经验公式计算^[23],如下:

$$SOC = OC - EC \times (OC/EC)_{\min} \quad (1)$$

式中 $(OC/EC)_{\min}$ 为所观测到 OC/EC 的最小值。由于不同季节的气象条件不同,并且每个季节的污染源有一定的差异^[24],因此本研究先选取每个季节的 $(OC/EC)_{\min}$,再根据(1)式计算出万州四季的 SOC 值(图 2)。万州 SOC 的年均值为 $13.79 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,占到 OC 质量的 46.72%,可见,SOC 是万州 PM_{2.5} 中 OC 的重要组成部分。万州 SOC 浓度的季节变化与 OC 的季节变化相同,SOC 浓度从大到小依次为冬季($28.75 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)、秋季($13.88 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)、春季($5.46 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)和夏季($1.21 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$),对应的 SOC 分别占到 OC 的 47.53%,42.99%,36.49%和 16.20%。类似的 SOC 季节变化规律在对厦门的研究中也有发现^[25]。冬

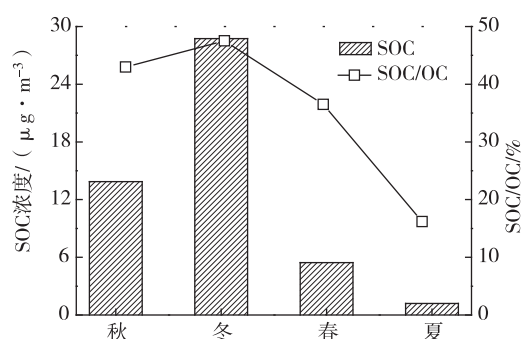


图 2 SOC 浓度和 SOC/OC 比值的季节变化

Fig. 2 Seasonal variations of SOC concentrations and SOC/OC ratios

季的 SOC 的浓度为年均 SOC 浓度的 2.08 倍,冬季 SOC 浓度较高的原因可能是冬季不仅 OC 的排放量增多,半挥发性污染物和有机气体的排放量也增多,再加上冬季的低温天气和较低的混合层高度不利于污染物扩散,致使这些气体污染物在大气中的滞留时间长,有利于生成 SOC^[1]。在北京、广州、厦门和香港等地冬季也出现较高的 SOC 现象^[25-26]。

3 结论

1) 重庆万州区 PM_{2.5} 中 OC 和 EC 日平均浓度分别为 $(29.72 \pm 27.84) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $(8.42 \pm 8.50) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。TC 占到 PM_{2.5} 中 27.25%,说明碳组分是 PM_{2.5} 中的重要组成成分。通过与国内其他城市的比较,万州的 OC 和 EC 在全国处于较高水平,可见中等城市的大气碳污染不可忽视。

2) OC 浓度的季节变化趋势从大到小依次为冬季、秋季、春季和夏季,EC 浓度在冬季最高,其他 3 个季节浓度相差不大,OC 和 EC 的季节变化特征主要是由气象条件变化与排放源不同 2 个因素共同引起。

3) OC、EC 与 PM_{2.5} 有显著的相关性,说明产生 OC、EC 的源如机动车、燃煤等对万州 PM_{2.5} 的贡献很大。OC 和 EC 之间在不同的季节的相关性都较好,两者可能有共同的来源。比较不同季节的 OC/EC 值发现,万州秋季 PM_{2.5} 中碳质颗粒物主要来自生物质的燃烧,冬季和春季源于燃煤、汽车尾气排放和船舶尾气尘,夏季主要来自汽车尾气排放。

4) 根据最小比值法估算的 SOC 年平均浓度为 $13.79 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,占到 OC 质量的 46.72%,是万州 PM_{2.5} 中 OC 的重要组成部分,万州 SOC 浓度的季节变化规律与 OC 的相同。

参考文献:

- [1] Feng Y L, Chen Y J, Guo H, et al. Characteristics of organic and elemental carbon in PM_{2.5} samples in Shanghai, China[J]. Atmospheric Research, 2009, 92: 434-442.
- [2] Cao J J, Lee C S, Chow C J, et al. Spatial and seasonal distributions of carbonaceous aerosols over China[J]. Journal of Geophysical Research, 2007, 112(D22): D22S11.
- [3] Hansen J, Sato M, Ruedy R, et al. Efficacy of climate forcings[J]. Journal of Geophysical Research, 2005, 110(D18): D18104.
- [4] Ramanathan V, Carmichael G. Global and regional climate changes due to black carbon[J]. Nature Geoscience, 2008, 1(4): 221-227.
- [5] 程萌田, 金鑫, 温天雪, 等. 天津市典型城区大气碳质颗粒物的粒径分布特征和来源[J]. 环境科学研究, 2013, 26(2): 115-121.
Cheng M T, Jin X, Wen T X, et al. Size distribution characteristics and sources of carbonaceous aerosols in typical Tianjin city, China[J]. Research of Environmental Sciences, 2013, 26(2): 115-121.
- [6] Zhao P S, Dong F, Yang Y D, et al. Characteristics of carbonaceous aerosol in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China[J]. Atmospheric Environment, 2013, 71(2013): 389-398.
- [7] Cao J J, Zhu C S, Tie X X, et al. Characteristics and sources of carbonaceous aerosols from Shanghai, China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 2012, 12(7): 16811-16849.
- [8] Cao J J, Lee S C, Ho K F, et al. Spatial and seasonal variations of atmospheric organic carbon and elemental carbon in Pearl River Delta Region, China[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38: 4447-4456.
- [9] Cao J J, Wang Q Y, Chow J C, et al. Impacts of aerosol compositions on visibility impairment in Xi'an, China[J]. Atmospheric Environment, 2012, 59: 559-566.
- [10] Cao J J, Wu F, Chow J C, et al. Characterization and source apportionment of atmospheric organic and elemental carbon during fall and winter of 2003 in Xi'an, China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2005, 5: 3127-3137.
- [11] 赵亮, 鲁群岷, 李莉, 等. 重庆万州区大气降水的化学特征[J]. 三峡环境与生态, 2013, 35(2): 9-15.
Zhao L, Lu Q M, Li L, et al. Chemical characteristics of atmospheric precipitation at Wanzhou district of Chongqing[J]. Environment and Ecology in the Three Gorges, 2013, 35(2): 9-15.
- [12] 迟旭光, 狄一安, 董树屏, 等. 大气颗粒物样品中有机碳和元素碳的测定[J]. 中国环境监测, 1999, 15(4): 11-13.
Chi X G, Di Y A, Dong S P, et al. Determination of organic carbon and elemental carbon in atmospheric aerosol samples[J]. Environmental Monitoring in China, 1999, 15(4): 11-13.
- [13] 陈魁, 银燕, 魏玉香, 等. 南京大气 PM_{2.5} 中碳组分观测分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(8): 1015-1020.
Chen K, Yin Y, Wei Y X, et al. Characteristics of carbonaceous aerosols in PM_{2.5} in Nanjing[J]. China Environmental Science, 2010, 30(8): 1015-1020.
- [14] 陈刚才, 陶俊, 赵琦, 等. 重庆主城区大气总悬浮颗粒中有机碳和元素碳污染特征分析[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(10): 1-4.
Chen G C, Tao J, Zhao Q, et al. Character of organic and elemental carbon in Chongqing aerosols[J]. Chongqing Environmental Science, 2003, 25(10): 1-4.
- [15] Yang F, Tan J, Zhao Q, et al. Characteristics of PM_{2.5} speciation in representative megacities and across China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2011, 11: 5207-5219.
- [16] 李伟芳, 白志鹏, 魏静东, 等. 天津冬季大气中 PM_{2.5} 及其主要组分的污染特征[J]. 中国环境科学, 2008, 28(6): 481-486.
Li W F, Bai Z P, Wei J D, et al. Pollution characteristics of PM_{2.5} and its main components in Tianjin winter atmosphere[J]. China Environmental Science, 2008, 28(6): 481-486.
- [17] Tao J, Cheng T T, Zhang R J, et al. Chemical composition of PM_{2.5} at an urban site of Chengdu in southwestern China[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2013, 30(4): 1070-1084.
- [18] Chow J C, Watson J G, Chen L-W A, et al. Exposure to PM_{2.5} and PAHs from the Tongliang, China epidemiological study[J]. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2006, 41(4): 517-542.
- [19] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, et al. Measurement of emissions from air pollution sources. 5. C-C organic compounds from gasoline-powered motor vehicles[J]. Science & Technology, 2002, 36(6): 1169-1180.
- [20] 张灿, 周志恩, 翟崇治, 等. 基于重庆本地碳成分谱的 PM_{2.5} 碳组分来源分析[J]. 环境科学, 2014, 35(3): 810-819.

- Zhang C, Zhou Z E, Zhai C Z, et al. Carbon source apportionment of $PM_{2.5}$ in Chongqing based on local carbon profiles[J]. *Environmental Science*, 2014, 35(3): 810-819.
- [21] Chen Y J, Zhi G R, Feng Y L, et al. Measurements of emission factors for primary carbonaceous particles from residential raw-coal combustion in China[J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(20): 1-4.
- [22] Sheesley R J, Schauer J J, Chowdhury Z, et al. Characterization of organic aerosols emitted from the combustion of biomass indigenous to South Asia[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2003, 108(D9): 4285.
- [23] Castro L M, Pio C A, Harrison R M, et al. Carbonaceous aerosol in urban and rural European atmospheres: estimation of secondary organic carbon concentrations[J]. *Atmospheric Environment*, 1999, 33(17): 2771-2781.
- [24] 王杨君, 董亚萍, 冯加良, 等. 上海市 $PM_{2.5}$ 中含碳物质的特征和影响因素分析[J]. *环境科学*, 2010, 31(8): 1755-1761.
- Wang Y J, Dong Y P, Feng J L, et al. Characteristics and influencing factors of carbonaceous aerosols in $PM_{2.5}$ in Shanghai, China[J]. *Environmental Science*, 2010, 31(8): 1755-1761.
- [25] Zhang F W, Zhao J P, Chen J S, et al. Pollution characteristics of organic and elemental carbon in $PM_{2.5}$ in Xiamen, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2011, 23(8): 1342-1349.
- [26] Li W F, Bai Z P. Characteristics of organic and elemental carbon in atmospheric fine particles in Tianjin, China[J]. *Particuology*, 2009, 7(6): 432-437.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Pollution Characteristics of Organic and Elemental Carbon in $PM_{2.5}$ at Wanzhou

HUANG Yimin, FU Chuan, ZHANG Liuyi, QIN Xiaoli, ZHANG Qichen, WU Bingyu

(Key Laboratory of Water Environment Evolution and Pollution Control, Chongqing 404000, China)

Abstract: The pollution characteristics of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in $PM_{2.5}$ was investigated at Wanzhou district of Chongqing. $PM_{2.5}$ was collected during four season-representative months in 2012–2013, which OC and EC in the samples were analyzed. The results showed that the annual mass concentration of OC and EC in $PM_{2.5}$ were 29.72 and 8.42 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. The sum of OC and EC concentrations accounted for 27.25% of the mass of $PM_{2.5}$. The seasonal average concentrations of OC levels ranked by the order of winter > autumn > spring > summer, while the EC concentrations were highest in winter and had the same levels in other seasons. Strong correlations (r ranged from 0.67 to 0.84) between OC and EC was found in all seasons, with the highest correlation coefficients in the winter ($r=0.84$) and the lowest in autumn ($r=0.67$), indicating that the pollutant sources in autumn was more complicated. The minimum OC/EC ratio method, which relied mainly on ambient measurements of OC and EC, had been used to estimate the secondary organic carbon (SOC) formation. The annual average of SOC concentration in Wanzhou were 13.79 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, accounting for 46.72% of OC. Due to high OC levels and weaker dispersal ability of atmosphere, SOC concentrations during winter were much higher than other seasons.

Key words: $PM_{2.5}$; organic carbon; elemental carbon; secondary organic carbon

(责任编辑 陈 琴)