



福建三明市春季 PM_{2.5} 中有机碳、元素碳和水溶性离子特征分析

摘要

2014年3月13日至4月20日在福建三明市利用 PM_{2.5} 中流量采样器采集大气中 PM_{2.5} 膜样品,测定了 PM_{2.5} 的质量浓度,并用热/光碳分析仪和离子色谱分析了其组分变化特征.结果表明,三明市观测期间 PM_{2.5} 的平均质量浓度为 73.61±0.73 μg/m³,有机碳(OC)和元素碳(EC)的平均质量浓度分别为 7.26±1.00 和 5.63±0.27 μg/m³,水溶性离子中 SO₄²⁻、NH₄⁺、NO₃⁻ 和 Na⁺ 的质量浓度分别为 18.08±12.19、4.18±3.56、2.77±1.16 和 2.73±0.23 μg/m³,总和占总水溶性离子的 87.76%.结合后向轨迹分析了福建三明市的污染物来源特征.该地区 OC/EC 的平均比值小于 2, SOC(二次有机碳)生成量很少,主要以一次有机污染物为主, OC、EC 与 K⁺ 的相关性分析表明 OC、EC 与 K⁺ 的来源相近,可以判断 OC、EC 绝大部分来源是生物质燃烧产生的污染物.在水溶性离子分析中,观测期间 NO₃⁻/SO₄²⁻ 为 0.159±0.02,表明三明市主要以固定源为主,机动车辆等移动源贡献较少.

关键词

PM_{2.5}; 有机碳; 元素碳; 水溶性离子; 福建三明

中图分类号 X513

文献标志码 A

收稿日期 2015-05-19

作者简介

程瑾,男,硕士生,研究方向为大气环境监测.89chengjin@163.com

郑军(通信作者),男,博士,教授,主要从事大学化学和大气科学研究.

zheng.jun@nuist.edu.cn

1 南京信息工程大学 环境科学与工程学院, 南京, 210044

2 南京信息工程大学 江苏省大气环境监测与污染控制高新技术重点实验室, 南京, 210044

3 福建省三明市气象局, 三明, 365000

0 引言

气溶胶是大气中的重要污染物,影响能见度、人体健康、全球气候变化以及地面辐射平衡^[1-4].较粗粒子而言,细颗粒物(PM_{2.5})能够通过呼吸系统进入肺泡,从而进入血液侵蚀人体的心脏和大脑,造成呼吸道和心脑血管疾病,对人体健康的影响更为严重,所以受关注的程度更高.含碳物质和水溶性离子是细颗粒物的重要组成部分,可占 PM_{2.5} 的 30%~80%左右^[5].颗粒物中含碳物质主要包括有机碳(OC)、元素碳(EC)、碳酸盐碳(CC)^[6],OC 由污染源直接排放的一次有机碳(POC)和气态有机物经过光化学反应生成的二次有机碳(SOC)组成,EC 主要是化石燃料和生物质不完全燃烧产生的一次颗粒物^[7],CC 在颗粒物中的含量较少,一般不予考虑.水溶性离子具有较强的亲水性,能够改变大气颗粒物云凝结核的能力,主要以硫酸盐、硝酸盐、铵盐为主的二次离子形式存在,这些物质通过吸湿性改变气溶胶的质量、大小、寿命和组分^[8].针对 PM_{2.5} 的化学组分和来源分析的相关研究已成为当前国内外大气气溶胶领域的热点^[9].

目前,福建地区 PM_{2.5} 组分的相关研究仅限于沿海较为发达的城市,如福州、厦门和泉州等,而相对偏内陆的三明市大气细粒子组分中的水溶性离子和有机碳、元素碳的研究尚未见报道.本研究可为之后福建省各市及国内外各地区的分析研究提供参照对比,并为三明市的大气污染控制措施的制定提供参考建议.

1 实验方法

1.1 采样

PM_{2.5} 的采集使用青岛恒远科技发展有限公司生产的型号为 HY-100 PM_{2.5} 的颗粒物采样器,并选用进口的 Whaman QMA 石英滤膜.采样之前滤膜需进行预处理:将滤膜放在锡箔纸上置于 450 ℃ 马弗炉中烘烤 4.5 h 后用锡纸包好,放入平衡器皿中平衡 24 h 后使用 1/100 000 的天平称重,干燥后低温保存待用.采样前组装采样器并对其进行检漏、校正.采样时与石英膜有接触的部分使用酒精棉擦拭.每次采样都使用一次性手套,确保降低实验数据的人为误差.每天早晚 7 时更换一次采样膜,12 h 为一个周期.采集的样品封装置于 4 ℃ 以下洁净冰箱保存.

梅列区是三明市政治、经济、信息、商贸、文化中心,位于三明市的西北部,东北与沙县接壤,西北与明溪县毗邻,南连三元区,地形以低山和丘陵为主,地势由东南部向西北部倾斜,海拔多在150~500 m之间,最高1 537 m.属中亚热带季风气候,兼具大陆性和海洋性气候特点.年平均气温19.4℃,年平均降雨量1 656.3 mm.经济类型主要以冶金压延与金属深加工、机械加工与装备制造、新型建筑材料三大主导的工业产业,现代农业和第三产业为主.如图1采样地点选在福建省三明市梅列区三明国家气象观测站内,117°37'E,26°16'N,海拔高度208.2 m,位于三明市列东乡石灰岭小山顶.周围视野开阔,没有遮挡物,可收集到来自各个方向的污染物.采样点西南方向是三明市钢铁厂,西北方向为沙溪河.

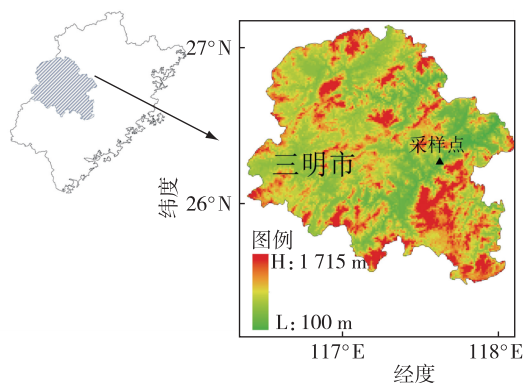


图1 采样点福建省三明市地理位置示意

Fig. 1 The sampling points in Sanming, Fujian province

1.2 实验仪器

PM_{2.5}采样器(青岛恒远科技发展有限公司); Model 2001A热/光碳分析仪(DRI,美国);马弗炉;电子天平(1/100 000);美国戴安离子色谱仪(ICS-2000、ICS-3000)

1.3 样品分析

样品中有机碳和元素碳的含量由热/光碳分析仪测定.采用程序升温,升温分为无氧和有氧加热两个阶段.在热光炉中,先通入氦气,在无氧的气氛下程序升温,逐步加热颗粒物样品,使样品中有机碳挥发,之后通氧/氦混合气(氧、氮体积比为2:98),在有氧气氛下继续加热升温,使得样品中的元素碳燃烧.无氧加热时的焦化效应可使部分有机碳转变为裂解碳(OC_{Pyro}).无氧加热时段与各个温度台阶相对应的碳为OC1(120℃)、OC2(250℃)、OC3(450℃)、OC4(550℃),而有氧加热步骤中对应各个温

度台阶的碳为EC1(550℃)、EC2(700℃)、EC3(800℃),EC1中包含了OCP.检测样品对633 nm He/Ne激光的光强的变化,将反射光强回到初始光强的时刻定义为EC的起始点,从EC1中分离出OCP.将有机碳OC定义为OC1+OC2+OC3+OC4+OCP,元素碳EC定义为EC1+EC2+EC3-OCP.仪器的有机碳(OC)和元素碳(EC)最低检测限分别为0.82和0.20 μg/cm²,测量范围为0.2~750 μg/cm².样品分析时在石英膜由内到外3个不同部位均匀打孔进样,做3个平行样并取平均值.

取1/4采集到的样品膜剪碎置于洁净的样品瓶中,加入20 mL 18.2 MΩ/cm去离子水,10 min超声一次并静置10 min,20 min为一次循环,连续操作3次后使用针管加滤头提取清液,进入美国戴安公司的离子色谱分析.用此同样方法测试空白膜作为空白对照实验.在此之前配制阳离子Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺,阴离子F⁻、CH₃COO⁻、HCOO⁻、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、C₂O₄²⁻混合标准溶液,用于制作标准曲线,并多次尝试,直到标准曲线相关性达到99.9%以上.

2 结果与讨论

2.1 PM_{2.5}的特征分析

此次实验从2014年3月13日开始,于4月20日结束采样,为期1个月,除去雨天不采样,共采集到59张样品膜.PM_{2.5}的12 h(7:00—19:00和19:00—次日7:00)质量浓度变化范围为41.55~170.74 μg/m³,平均值为73.61 μg/m³.根据美国环保局(EPA)制定的国家大气环境标准,PM_{2.5}的日平均质量浓度标准为35 μg/m³,而我国在2012年3月修订的《环境空气质量标准》(GB 3095—2012) PM_{2.5}日均值二级标准为75 μg/m³.

整个采样期间有两个时段PM_{2.5}值超过150 μg/m³(图2).第一时段为3月16日白天PM_{2.5}质量浓度达到158.21 μg/m³,16日夜晚有明显的降雨,17日污染物质量浓度降低至58.94 μg/m³,表明降雨对污染物的去除具有明显的作用.随后18日又突然上升到158.57 μg/m³,可能与来自西南的一股南上的下降气团(图3a)有关.气团从广东省临近汕头市的海域而来,经过明显的火点区域(图4a),还经过三明西南方向的钢铁厂,可能带来了较多的污染物,并且18日当地平均风速较低,仅有0.95 m/s,不利于污染物的扩散.19日后风向以东北风和东风为主,并且风速较高,20日夜间有明显降雨,当地空气较为干

净,19—24日 $PM_{2.5}$ 平均质量浓度为 $58.14 \mu g/m^3$,结合后向轨迹(图3b)可知,来自东和东南方向的海上气团较为干净,且观测点东和东南方向没有明显的火点分布(图4b).3月底至4月初期受降雨影响,采样时间的整体性受到干扰.4月8日的第二次 $PM_{2.5}$ 浓度超过 $150 \mu g/m^3$ 的样品膜因下雨只采样2.5h,受吸湿影响,膜质量偏重,误差较大数据不准确,所以不予分析.

如表1所示,三明市春季采样期间的 $PM_{2.5}$ 浓度低于福建厦门、泉州冬季,高于福州冬季,与北方一些城市(西安、天津、青岛)对比其浓度较低,与南京

市区和郊区春季的 $PM_{2.5}$ 值比较其浓度也相对较低,表明采样期间三明市的空气质量在全国范围内相对较好,但与国外(泰国清迈、日本)相比,其浓度较高.

2.2 $PM_{2.5}$ 中有机碳与元素碳的特征分析

有机碳和元素碳是 $PM_{2.5}$ 的重要组成部分,此次实验中OC和EC的平均质量浓度分别为 7.26 和 $5.63 \mu g/m^3$,分别占 $PM_{2.5}$ 质量浓度的 9.82% 和 7.67% .OC的最大值出现在3月19日,EC最大值出现在3月18日和19日(图5).OC、EC与 $PM_{2.5}$ 的相关性分别为 0.459 和 0.485 ,与 $PM_{2.5}$ 的变化趋势近

表1 国内外各城市 $PM_{2.5}$ 、OC及EC质量浓度对比

城市	采样时间	$PM_{2.5}$	OC	EC	参考文献
三明市春季	2014-03-04	73.61 ± 0.73	7.26 ± 1.00	5.63 ± 0.27	本文
福州冬季	2011-01-05—14	90.22 ± 45.2	15.21 ± 9.24	2.21 ± 0.34	[10]
厦门冬季	2011-01-05—14	106.58 ± 75.2	17.18 ± 10.45	3.04 ± 1.89	[10]
泉州冬季	2011-01-05—14	97.38 ± 55.2	17.29 ± 10.11	2.63 ± 1.56	[10]
南京市春季	2011-01	98.33 ± 50.24	13.93 ± 4.81	3.70 ± 1.73	[11]
南京郊区春季	2011-01	109.13 ± 57.34	17.83 ± 4.48	5.81 ± 2.06	[11]
西安	2012-01	135.3 ± 8.5	38.3 ± 2.9	7.3 ± 1.2	[12]
天津	2001-01	124.4 ± 60.9	30.7 ± 16.1	7.9 ± 3.5	[13]
青岛	2011-10—2012-08	163	22.2 ± 3.0	7.3 ± 0.5	[14]
泰国清迈	2010-04	45.5 ± 8.8	18.62 ± 4.10	3.33 ± 0.87	[15]
日本	2007-08—2008-08	20.58 ± 8.6	3.75 ± 1.5	1.94 ± 1.2	[16]

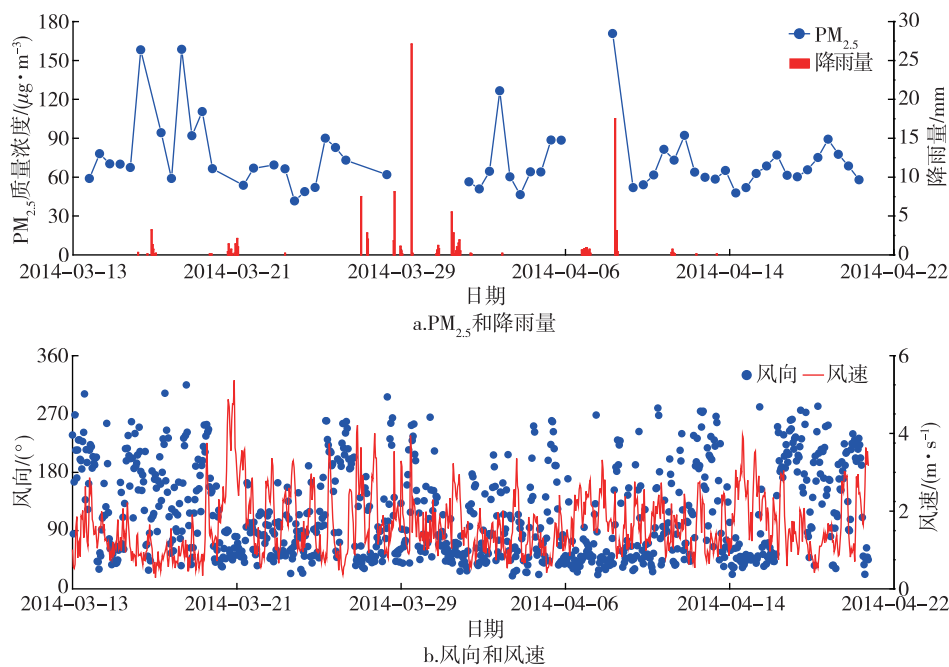


图2 三明市春季观测期间 $PM_{2.5}$ 质量浓度、降雨量、风向和风速时间变化

Fig.2 Time series of $PM_{2.5}$ mass concentration, rainfall, wind direction and wind speed in Sanming during the observation period

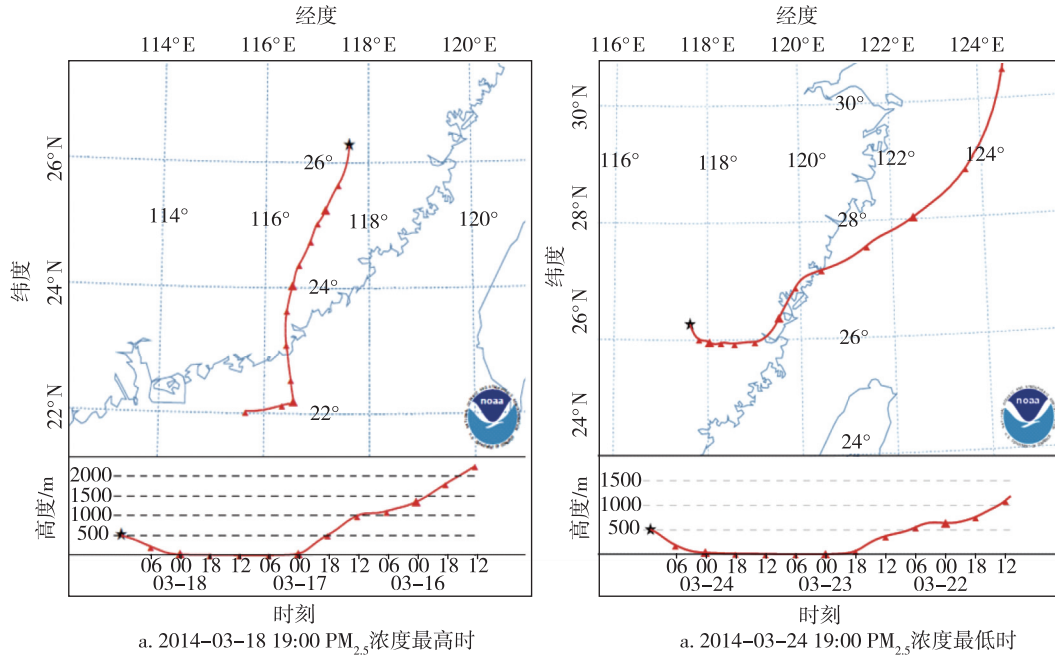


图3 三明市观测地 72 h 后向轨迹(★位置为 117.62°E,26.27°N)

Fig.3 NOAA HYSPLIT MODEL 72 hours backward trajectories, (a) for the case of highest PM_{2.5} concentration at 19:00 on March 18, 2014, (b) for the case of lowest PM_{2.5} concentration at 19:00 on March 24, 2014

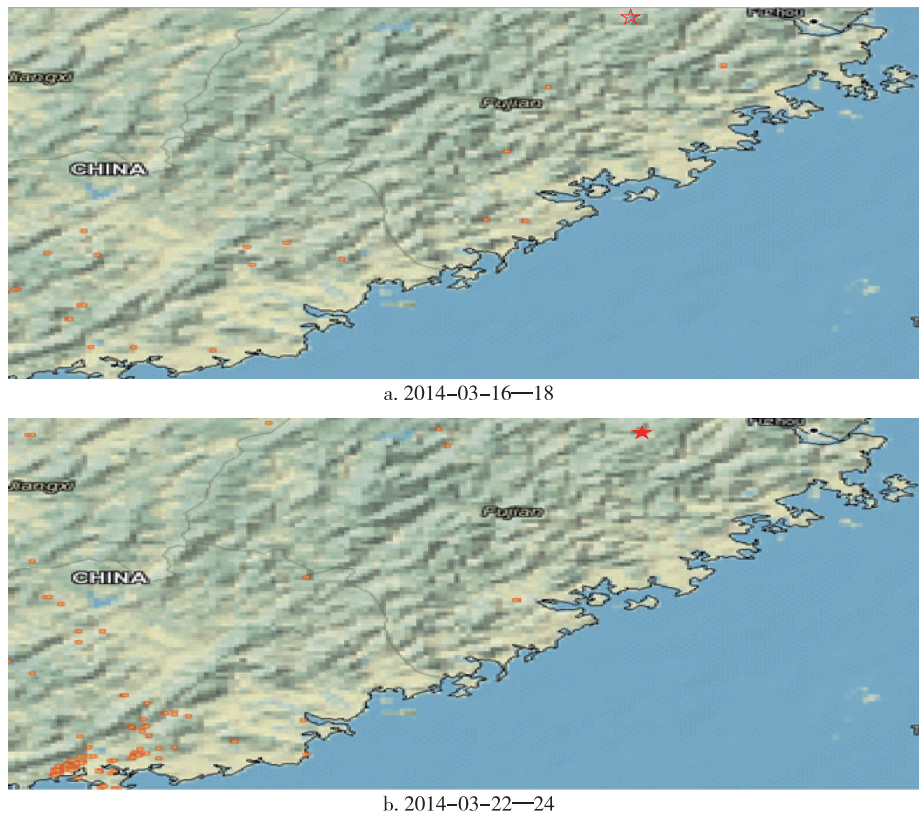


图4 三明市观测期火点分布状况(★为三明市采样点)

Fig.4 Locations of fire points observed in Sanming.★denotes the sampling point in Sanming.(a) for the distribution of fire points from 16th to 18th March 2014;(b) for the distribution of fire points from 22nd to 24th March 2014

似吻合.OC 与 EC 的相关性较高,为 0.832,说明 OC、EC 的来源相似.OC、EC 与 K^+ 的相关性较高,分别为 0.710 和 0.755,说明 OC、EC 与 K^+ 的来源相近.如图 4 所示,受生物质燃烧影响,3 月 18 日 OC、EC 和 K^+ 的质量浓度均较高,分别为 13.37、11.39 和 1.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,3 月 24 日无生物质燃烧干扰时,OC、EC 和 K^+ 的质量浓度分别为 6.00、3.70 和 0.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,数值相对较低.细粒子 K^+ 常被认为是非常灵敏的生物质燃烧指示剂,所以可以判断 OC、EC 很大一部分来源是生物质燃烧产生的污染物.

研究认为可以利用 OC/EC 的最小值作为起始 OC、EC 的真实值.超出最小比值部分可以看做为新加入的 OC,即为 SOC 的值.一般认为 OC/EC>2 时有 SOC 生成^[18].此次实验中 OC/EC 的平均比值为 1.89,大部分时间的比值在 1.1 左右,由此可看出三明市的大气细颗粒物中的 SOC 生成量很少,主要以一次有机污染物为主.

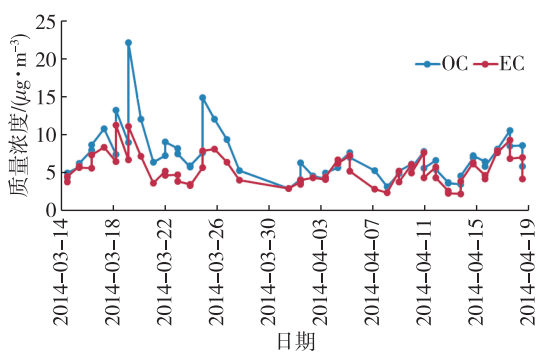


图 5 $\text{PM}_{2.5}$ 组分中有机碳、元素碳的变化趋势

Fig. 5 Time series of organic carbon and elemental carbon in $\text{PM}_{2.5}$

2.3 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子浓度水平与特征

采样期内三明市 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子的平均质量浓度由高至低的顺序为 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{HCOO}^- > \text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{C}_2\text{O}_4^{2-} > \text{F}^- > \text{CH}_3\text{COO}^-$ (图 6).其中占有比重较大的离子分别为 SO_4^{2-} (18.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、 NH_4^+ (4.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、 NO_3^- (2.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、 Na^+ (2.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).4 种离子的质量浓度分数占总体的 87.76%.而水溶性离子占 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度的 43.15%.在污染严重的 3 月 16 与 18 日, SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 与 $\text{PM}_{2.5}$ 的变化趋势相似,且均达到了采样期间的最大值.

Cl^- 的来源复杂,有海盐、燃煤、土壤、工业排放等.如表 2 所示, NH_4^+ 、 K^+ 与 Cl^- 之间有较高的相关性(分别为 0.75、0.63), K^+ 主要来源于生物质燃烧,表明三明市在采样期间有一部分 Cl^- 来源于燃烧; NH_4^+ 主要来源于工业排放, NH_4^+ 可以和燃煤排放的气态氯化氢反应生成氯化铵,并存在于细粒子中,说明其一部分 Cl^- 来自于工业排放. Mg^{2+} 和 Na^+ 有较高的相关性(0.89), Na^+ 主要来源于海盐,表明 Mg^{2+} 也有一部分来自于海盐.

水溶性离子中 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 的相关性很好. SO_4^{2-} 与 NH_4^+ 的相关性系数为 0.952, NO_3^- 与 NH_4^+ 的相关性系数为 0.741. NH_4^+ 优先与 SO_4^{2-} 结合,可以生成 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 NH_4HSO_4 .由于 NH_4^+ 和 SO_4^{2-} 的质量浓度的比值为 1.23,介于 2:1 和 1:1 之间,所以它们同时存在.文献[17]也证明它们是同时存在的.通过下列方程计算出 NH_4^+ 的质量浓度再与实际值比较作相关性分析,如果式(1)的相关性好,说明以

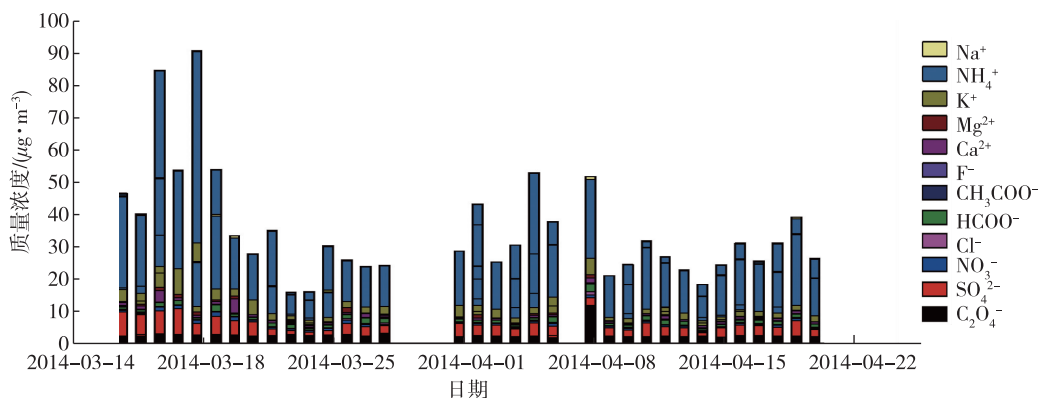


图 6 采样期间内三明市 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子浓度变化

Fig. 6 Distribution of water soluble ions in $\text{PM}_{2.5}$ of Sanming during the sampling period

表 2 PM_{2.5}与水溶性离子和有机碳、元素碳相关性Table 2 Correlation between PM_{2.5} mass concentration, water soluble ions and organic carbon

	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻	CH ₃ COO ⁻	HCOO ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	C ₂ O ₄ ⁻	OC	EC
Na ⁺														
NH ₄ ⁺	-0.072													
K ⁺	0.124	0.651**												
Mg ²⁺	0.892**	-0.144	0.011											
Ca ²⁺	0.407**	0.178	0.292*	0.318*										
F ⁻	0.248	0.262*	0.423**	0.187	0.257*									
CH ₃ COO ⁻	0.603**	0.156	0.369**	0.544**	0.418**	0.442**								
HCOO ⁻	0.141	0.190	0.349**	0.081	0.208	0.212	0.748**							
Cl ⁻	0.134	0.632**	0.748**	-0.001	0.087	0.575**	0.238	0.148						
NO ₃ ⁻	0.163	0.741**	0.594**	0.027	0.270*	0.166	0.233	0.204	0.549**					
SO ₄ ²⁻	0.159	0.952**	0.605**	0.087	0.304*	0.327*	0.237	0.145	0.620**	0.715**				
C ₂ O ₄ ⁻	0.535**	0.107	0.458**	0.335**	0.438**	0.142	0.559**	0.356**	0.185	0.193	0.194			
OC	-0.001	0.318*	0.710**	-0.029	0.494**	0.215	0.322*	0.360**	0.337**	0.229	0.266*	0.456**		
EC	-0.137	0.529**	0.755**	-0.120	0.352**	0.173	0.143	0.190	0.418**	0.317*	0.468**	0.369**	0.832**	
PM _{2.5}	0.607**	0.573**	0.622**	0.497**	0.665**	0.348**	0.477**	0.164	0.549**	0.620**	0.728**	0.527**	0.459**	0.485**

注: **在 0.01 水平(双侧)上显著相关; *在 0.05 水平(双侧)上显著相关.

NH₄HSO₄ 和 NH₄NO₃ 为主,反之则以 (NH₄)₂SO₄ 和 NH₄NO₃ 为主.而通过计算可得出式(1)和式(2)的相关性系数分别为 0.912 6 和 0.918,非常相近,也验证了它们同时存在的推测.所以可以看出三明市大气污染天气水溶性离子主要以 (NH₄)₂SO₄、NH₄HSO₄ 和 NH₄NO₃ 为主.

$$[\text{NH}_4^+] = 0.192[\text{SO}_4^{2-}] + 0.29[\text{NO}_3^-] \quad (1)$$

$$[\text{NH}_4^+] = 0.38[\text{SO}_4^{2-}] + 0.29[\text{NO}_3^-] \quad (2)$$

一般可以用 NO₃⁻/SO₄²⁻ 的比值来衡量移动源和固定源对一个地区污染的影响.因为产生 NO₃⁻ 的石油天然气等化石燃料大多来自机动车排放,而 SO₄²⁻ 来源于煤炭的燃烧,源相对固定.三明市 NO₃⁻/SO₄²⁻ 的平均值为 0.159,基本上维持在 0.1~0.2 之间.文献[10]提到福建另外 3 个城市(厦门、漳州、泉州)的比值分别为 0.86、0.31 和 0.29.与三明对比发现,厦门经济较为发达,机动车辆较多,因此对大气的影响也较为显著,其他 2 个城市较厦门低很多,但仍比三明高,可见三明市固定源的影响是占主导地位的,机动车辆等移动源贡献较少.

2.4 水溶性离子和有机碳、元素碳占 PM_{2.5} 的比重

PM_{2.5} 的主要组分有 OC、EC、SO₄²⁻、NH₄⁺、NO₃⁻ 和 Na⁺.整个春季采样期间内,这 6 种成分占 PM_{2.5} 的比

重为 41.5%(质量分数),其中 OC、EC 占 17.48%,而水溶性离子为 43.15%,可见水溶性离子与 OC、EC 是三明市大气中细粒子中非常重要的组分.

将三明市春季灰霾和正常天气单日的 PM_{2.5} 中有机碳、元素碳和水溶性离子所占比重相比较,研究雾霾较为严重日 PM_{2.5} 组分的变化(表 3).由表 3 可以看出,空气质量良好的 4 月 1 日 OC、EC 所占比重和污染严重的 3 月 18 日相比变化不大.重度雾霾天气比重上升明显的为 SO₄²⁻、NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 3 种离子,硫酸铵和硝酸铵的成核增长也会影响能见度,在污染天气给人视觉模糊的感受.

表 3 PM_{2.5} 中组分在灰霾和正常天气所占比重(质量分数)的对比Table 3 Contrast of PM_{2.5} component proportions in haze and normal days

PM _{2.5} 中的组分	3 月 18 日	4 月 1 日
OC	8.43	8.87
EC	7.19	6.87
NH ₄ ⁺	9.12	3.69
SO ₄ ²⁻	37.44	20.32
NO ₃ ⁻	4.16	3.92

3 结论

通过对 2014 年 3—4 月三明市春季 $PM_{2.5}$ 采样膜的分析,研究了 $PM_{2.5}$ 中有机碳、元素碳与水溶性离子的污染水平及分布特征,探讨了其相应来源.研究结果表明:

1) 三明市春季采样期间 $PM_{2.5}$ 、OC 和 EC 的质量浓度分别为 73.61 ± 0.73 、 7.26 ± 1.00 和 $5.63 \pm 0.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. $PM_{2.5}$ 的平均质量浓度略低于我国 2012 年修订的环境质量标准的浓度限值,说明三明市在采样期间空气质量基本良好,但部分时段也出现了污染超标.

2) OC、EC 与 K^+ 的相关性较高,分别为 0.710 和 0.755,说明 OC、EC 与 K^+ 的来源相近,可以推测 OC、EC 绝大部分来源是生物质燃烧产生的污染物.

3) 二次离子 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 是三明市 $PM_{2.5}$ 中 3 种主要的水溶性离子,表明其二次污染比较严重. NO_3^-/SO_4^{2-} 的比值平均值为 0.159,表明三明市污染以固定源为主,机动车辆等移动源贡献较少.

4) OC、EC 之和与水溶性离子之和分别占 $PM_{2.5}$ 质量浓度的 17.48% 和 43.15%,可见 OC、EC 与水溶性离子是三明市 $PM_{2.5}$ 中的重要组分.

参考文献

References

- [1] 唐孝炎,张远航,邵敏.大气环境化学[M].2版.北京:高等教育出版社,2006
TANG Xiaoyan, ZHANG Yuanhang, SHAO Min. Atmospheric environmental chemistry [M]. 2nd Ed. Beijing: Higher Education Press, 2006
- [2] Chow J C, Bachmann J D, Wierman S S G, et al. Visibility: Science and regulation[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2003, 52(9): 973-999
- [3] Andreae M O, Rosenfeld D. Aerosol-cloud-precipitation interactions, Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosols[J]. Earth-Science Reviews, 2008, 89(1): 13-41
- [4] Mahowald N. Aerosol indirect effect on biogeochemical cycles and climate [J]. Science, 2011, 334(6057): 794-796
- [5] Tai A P K, Mickley L J, Jacob D J. Correlations between fine particulate matter ($PM_{2.5}$) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of $PM_{2.5}$ to climate change [J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(32): 3976-3984
- [6] Li Q F, Wang-Li L J, Jayant R K M, et al. Organic and elemental carbon in atmospheric fine particulate matter in an animal agriculture intensive area in north Carolina: Estimation of secondary organic carbon concentrations [J]. Open Journal of Air Pollution, 2013, 2: 7-18
- [7] Mkoma S L, Chi X G, Maenhaut W. Characterization of

- carbonaceous materials in $PM_{2.5}$ and PM_{10} size fractions in Morogoro, Tanzania, during 2006 wet season campaign [J]. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, 2010, 268(10): 1665-1670
- [8] Duan F K, He K B, Ma Y L, et al. Concentration and chemical characteristics of $PM_{2.5}$ in Beijing, China; 2001-2002 [J]. Science of the Total Environment, 2006, 355(1/2/3): 264-275
- [9] 郭新彪,魏红英.大气 $PM_{2.5}$ 对健康影响的研究进展 [J]. 科学通报, 2013, 58(13): 1171-1177
GUO Xinbiao, WEI Hongying. Progress on the health effects of ambient $PM_{2.5}$ pollution [J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(13): 1171-1177
- [10] 陈衍婷,陈进生,胡恭任,等.福建省三大城市冬季 $PM_{2.5}$ 中有机碳和元素碳的污染特征 [J]. 环境科学, 2013, 34(5): 1988-1994
CHEN Yanting, CHEN Jinsheng, HU Gongren, et al. Characterization of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in $PM_{2.5}$ during the winter in three major cities in Fujian province, China [J]. Environmental Science, 2013, 34(5): 1988-1994
- [11] 吴梦龙,郭照冰,刘凤玲,等.南京市大气颗粒物中有机碳和元素碳粒径分布特征 [J]. 环境科学, 2014, 35(2): 451-457
WU Menglong, GUO Zhaobing, LIU Fengling, et al. Size distributions of organic carbon and elemental carbon in Nanjing aerosol particles [J]. Environmental Science, 2014, 35(2): 451-457
- [12] 张承中,丁超,周变红,等.西安市冬夏两季 $PM_{2.5}$ 中碳气溶胶的污染特征分析 [J]. 环境工程学报, 2013, 7(4): 1477-1481
ZHANG Chengzhong, DING Chao, ZHOU Bianhong, et al. Pollution characteristics of carbon aerosol in $PM_{2.5}$ of Xi'an during winter and summer [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(4): 1477-1481
- [13] 古金霞,白志鹏,刘爱霞,等.天津冬季 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 中有机碳、元素碳的污染特征 [J]. 环境污染与防治, 2009, 31(8): 33-36
GU Jinxia, BAI Zhipeng, LIU Aixia, et al. Pollution characteristics of OC and EC in $PM_{2.5}$ and PM_{10} in Tianjin winter [J]. Environmental Pollution & Control, 2009, 31(8): 33-36
- [14] 吴虹,张彩艳,王静,等.青岛环境空气 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 污染特征与来源比较 [J]. 环境科学研究, 2013, 26(6): 583-589
WU Hong, ZHANG Caiyan, WANG Jing, et al. Comparative study on pollution characteristics and source apportionment of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Qingdao [J]. Research of Environmental Sciences, 2013, 26(6): 583-589
- [15] Chuang M T, Chou C C K, Sopajaree K, et al. Characterization of aerosol chemical properties from near-source biomass burning in the northern Indochina during 7-SEAS/Dongsha experiment [J]. Atmospheric Environment, 2013, 78(7): 72-81
- [16] Md F K, Yuichiro S S, Koichiro H, et al. Characterization of $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$ and PM_{10} in ambient air, Yokohama, Japan [J]. Atmospheric Research, 2010, 96(1): 159-172

- [17] Turpin B J, Cary R A, Huntzicker J J. An in-situ, time-resolved analyzer for aerosol organic and elemental carbon [J]. *Aerosol Science and Technology*, 1990, 12 (1): 161-171
- [18] Kang C M, Lee H S, Kang B W, et al. Chemical characteristics of acidic gas pollutants and PM_{2.5} species during hazy episodes in Seoul, South Korea [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(28): 4749-4760

Characterization of EC/OC and water-soluble ions of PM_{2.5} samples in springtime of Sanming, Fujian province

CHENG Jin^{1,2} ZHANG Qingning^{1,3} ZHANG Bingjie^{1,2} ZHOU Luyu^{1,2} ZHENG Jun^{1,2}

1 School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Jiangsu Key Laboratory of Atmospheric Environment Monitoring and Pollution Control, Nanjing 210044

3 Sanming Meteorological Bureau of Fujian Province, Sanming 365000

Abstract PM_{2.5} samples were collected in Sanming, Fujian province from March 13 to April 20, 2014. The mass concentrations were determined and the chemical characteristics were analyzed by thermal optical carbon analyzer and ion chromatography. During the observation period in Sanming city, the average mass concentration of PM_{2.5} was 73.61±0.73 μg/m³. The averaged value of organic and elemental carbon were respectively 7.26±1.00 and 5.63±0.27 μg/m³, and the mass concentration fraction of four ions, including SO₄²⁻ (18.08±12.19 μg/m³), NH₄⁺ (4.18±3.56 μg/m³), NO₃⁻ (2.77±1.16 μg/m³) and Na⁺ (2.73±0.23 μg/m³), accounted for 87.76% of total water-soluble ions. Moreover, backward trajectory analysis indicated that the major pollution sources were located to the south-east of Sanming. The average ratio of OC to EC was 1.89, which is less than 2, indicating that there was little SOC production in atmospheric fine particles in Sanming city, while the primary organic pollutants were dominating the PM_{2.5} pollution. The correlation between K⁺ and OC, EC demonstrated that OC, EC have the similar source with K⁺, therefore we concluded that the primary source of pollutants was biomass burning. The mean result of NO₃⁻/SO₄²⁻ was 0.159±0.02, indicating that stationary sources were the dominated contributor while mobile sources such as motor vehicle contributed much less.

Abstract PM_{2.5}; organic carbon; elemental carbon; water-soluble ion; Sanming of Fujian province