

鞍山黑碳气溶胶观测*

王绪鑫¹ 马雁军^{2**} 向旬¹ 董秀辉¹ 安俊琳³

(1. 鞍山市气象局, 鞍山, 114004; 2. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳, 110016;
3. 南京信息工程大学应用气象学系, 南京, 210044)

摘要 以2009年5月鞍山大气成分站AE-31黑碳仪器观测数据,并结合GRIMM180观测数据,分析了该地区 $\rho(\text{BC})$ 变化特征.结果表明,以紫外光为检测光源测量的黑碳日平均浓度为 $4.015\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,以可见光为检测光源测量的黑碳日平均浓度为 $3.965\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,以红外光为检测光源测量的黑碳日平均浓度为 $4.051\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $\text{PM}_{1.0}$ 日平均浓度为 $30.4\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.黑碳气溶胶的各波段 $\rho(\text{BC})$ 变化趋势相同,紫外光和红外光为检测光测量的黑碳浓度较可见光的测量值高. $\rho(\text{BC})$ 与 $\rho(\text{PM}_{1.0})$ 有很好地相关性, $\rho(\text{BC})$ 占 $\rho(\text{PM}_{1.0})$ 的比例为22.6%. $\rho(\text{BC})$ 与能见度大小呈反比,其对光的吸收是影响能见度的重要因素之一.

关键词 黑碳气溶胶 $\text{PM}_{1.0}$ 能见度.

黑碳气溶胶(BC)是指悬浮在大气中的黑色碳质颗粒物,具有多孔性,粒径约在(0.01—1) μm .它们可以影响太阳辐射的吸收和散射^[1-5],从而影响地面温度,因而它对气溶胶的局地气候效应乃至全球气候效应均有着重要的贡献^[6-7].黑碳气溶胶属于污染排放的一次大气污染物,随着工业的飞速发展,能源消耗和汽车尾气带来的黑碳气溶胶排放成为大气,尤其是城市黑碳气溶胶的重要来源^[8-9].它在大气中的各种化学和光化学反应、非均相反应以及气粒转化过程中起着重要作用^[10-11].

大量的黑碳气溶胶可明显地降低大气能见度,它的增多可减少太阳直接辐射^[12-13],增大散射辐射,也增加大气长波逆辐射,将会改变地球辐射平衡,而且以亚微米颗粒为主的黑碳气溶胶上,往往大量吸附有多环芳烃类等致癌有毒物质,可以深入人体的呼吸系统,严重影响和危(毒)害环境及人体健康.当前对黑碳气溶胶的研究主要集中在分析成分、地基观测、基于模式的辐射强迫等三方面,其中地基观测方面,先后在瓦里关^[14]、北京^[2]、四川温江^[4]、上海^[11]、广州^[10]等地结合气象观测资料对当地大气中的黑碳气溶胶浓度及其时空变化特点进行了研究.鞍山位于东北地形槽的南端,人口密集,工业集中,大气污染属于煤烟、汽车尾气和自然扬尘混合型污染,尤以煤烟型污染为主^[15].对鞍山所处的辽宁中部城市群的黑碳气溶胶研究尚处于起步阶段,地基观测受测量设备限制,以往研究均给出近红外波段880nm的黑碳浓度值,无法消除某些无机物分子吸收光带来的测量误差,而且对紫外光和可见光检测光源的测量值研究很少.

本文利用AE-31型黑碳仪获得370nm波长到950nm波长的黑碳气溶胶数据,研究了该地区BC浓度的时空变化特征,研究粒径为 $1\mu\text{m}$ 尺度大气气溶胶中黑碳气溶胶的含量,并对BC浓度与能见度的相关性进行了分析.

1 实验方法

观测地点位于鞍山市气象局院内(41°05'N,123°00'E,海拔高度77.3m),周围是居民区,西面有常青街、安乐街等交通干道.采样点设在综合楼楼顶,监测时间为2009年5月1—31日,同期常规地面气象资料来源于鞍山市气象台.

采用美国玛基公司(Magee Scientific Co, USA)生产的AE-31型黑碳仪,测量灵敏度 $<0.1\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,采样流量 $3.9\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$,每5min获取一组黑碳浓度数据.

2009年11月24日收稿.

* 公益性行业(气象)科研专项项目(GYHY20080620);城市气象科学研究基金(Umrf200801)资助.

** 通讯联系人, E-mail: mayanjun0917@163.com

$$\rho(\text{BC}) = \frac{(\text{ATN} - \text{ATN}_0) \times A}{\sigma \times F \times T} \times 10^9 \quad (1)$$

式(1)中, $\rho(\text{BC})$ 为黑碳气溶胶平均浓度, $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; σ 为黑碳气溶胶的当量衰减系数, $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$; ATN 为本测量周期的光学衰减; ATN_0 为上一个测量周期的光学衰减; A 为采样点的面积, cm^2 ; F 采样的体积流速, $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$; T 为采样周期的时间, min . 观测数据采用 370nm 紫外光、520nm 和 590nm 波段的均值代表可见光, 880nm 红外光作为黑碳气溶胶的检测光.

采用德国 Grimm 公司生产的颗粒物监测仪 Grimm 180, 符合美国 EPA 标准 TSP 切割头, 可完成大气中 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{1.0}$ 等颗粒物浓度的连续观测, 采样频率为 5 min 一次, 采样流速为 $1.2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 32 个通道测量粒子直径的阈值分别为 0.25, 0.28, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.58, 0.65, 0.70, 0.80, 1.0, 1.3, 1.6, 2.0, 2.5, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0, 6.5, 7.5, 8.0, 10.0, 12.5, 15.0, 17.5, 20.0, 25.0, 30.0 和 $32 \mu\text{m}$. 数浓度测量范围为 $1 \sim 2000000 \text{ L}^{-1}$, 质量浓度为 $0.1 \sim 1500 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

2 结果与讨论

2.1 BC 逐日变化和日变化

颗粒物的吸光是在整个波谱上的, 每个波长段的消光性能都不一样, 所以如要描述颗粒物的吸光, 不能仅仅测量 880nm, 还需要在整个可见光及紫外红外光波段进行扩展测量及分析. 图 1 给出 2009 年 5 月黑碳气溶胶质量浓度逐日变化曲线, 由图 1 可知, 以紫外光、可见光、红外光为检测光源所测量 $\rho(\text{BC})$ 变化趋势相同, 月均值中 $\rho(\text{BC})_{\text{紫外光}}$ 为 $4.015 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 浓度范围 $2.294 \sim 8.890 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; $\rho(\text{BC})_{\text{可见光}}$ 为 $3.965 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 浓度范围 $2.096 \sim 9.168 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; $\rho(\text{BC})_{\text{红外光}}$ 为 $4.051 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 浓度范围 $2.103 \sim 9.591 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. $\rho(\text{BC})_{\text{紫外光}}$ 大于 $\rho(\text{BC})_{\text{可见光}}$ 占 5 月观测天数的 67.7%, 而大于 $\rho(\text{BC})_{\text{红外光}}$ 占 51.6%, $\rho(\text{BC})_{\text{可见光}}$ 小于 $\rho(\text{BC})_{\text{红外光}}$ 占 5 月观测天数 93.5%. $\rho(\text{BC})_{\text{紫外光}}$ 较 $\rho(\text{BC})_{\text{可见光}}$ 多 1.26%, $\rho(\text{BC})_{\text{红外光}}$ 较 $\rho(\text{BC})_{\text{可见光}}$ 多 2.17%. 造成不同检测光源所测量的黑碳气溶胶误差主要是 AE-31 黑碳仪依据光学衰减原理测量的浓度实质上为大气中当量黑碳气溶胶浓度, 因为某些芳香族有机物在紫外光部分有强烈的吸收, 而某些无机物在红外光波段有分子吸收等原因造成测量误差.

黑碳浓度逐日变化较大, 黑碳浓度最大值出现在 5 月 8、19、26 日, 最小值出现在 5 月 3、17 日, 其中紫外光波段 $\rho(\text{BC})_{\text{max}}$ 与 $\rho(\text{BC})_{\text{min}}$ 相差 3.9 倍, 可见光波段 $\rho(\text{BC})_{\text{max}}$ 与 $\rho(\text{BC})_{\text{min}}$ 相差 4.4 倍, 红外光波段 $\rho(\text{BC})_{\text{max}}$ 与 $\rho(\text{BC})_{\text{min}}$ 相差 4.6 倍. 观测期间造成最大(小)值主要是气象条件引起的, 黑碳浓度出现最小值时, 当月 1—2 日出现连续降水, 17 日凌晨出现 1h 左右降水, 大气湿沉降对黑碳气溶胶浓度降低作用明显. 3 日受高空弱槽影响, 17 日受高空槽前影响, 地面均受低压底部影响, 近地面垂直风速 (925hpa) 达 $10 \sim 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 尤其 3 日近地面垂直风速 (925hpa) 达 $17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 黑碳浓度出现最大值的三天受高空脊内(前)影响, 19 日和 26 日地面处于地面高压控制, 8 日地面处于地面低压前部影响, 出现轻雾天气; 此外, 黑碳浓度出现最大值的三天均出现不同程度的逆温, 逆温强度在 $0.3 \sim 1.1 \text{ }^\circ\text{C} \cdot (100\text{m})^{-1}$, 虽然 8 日逆温强度只有 $0.3 \text{ }^\circ\text{C} \cdot (100\text{m})^{-1}$, 但是 850hpa (1500m 左右) 风速小于 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 另外, 逆温层出现的高度均在近地面层, 最高距地面 700m, 最低才 125m.

图 2 给出 2009 年 5 月黑碳气溶胶质量浓度日变化曲线, 由图 2 可知, 各波段的 BC 浓度变化趋势相同, 为两峰一谷型, 每天峰值出现在早晨 7 时和夜晚 20 时, 而且早晨值最高, 最低值出现在下午 13—14 时. 这主要与太阳辐射强度有关, 中午大气扩散强, 污染物浓度小, 夜间边界层低和大气层结较稳定, 垂直方向湍流输送较弱而产生积累效应, 致使黑碳浓度在近地面层堆积而出现浓度峰值. 结合 5 月份地面常规气象资料, 风速月均值 $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 主导风向频率为 44% (S—SW 方向), 静风频率为 4%. 春季风速值大于年平均风速统计值 $2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 说明当月多大风天气, 南至西南方向地表干燥, 裸露地面多, 地表二次扬尘比较严重, 当月气溶胶的污染比较突出. 此外, 还与机动车尾气排放的规律有关, 7—8 时出现峰值主要由于上班期间, 16—17 时下班期间 $\rho(\text{BC})_{\text{紫外光}}$ 增长速率加大, 均为机动车排放源增强所致.

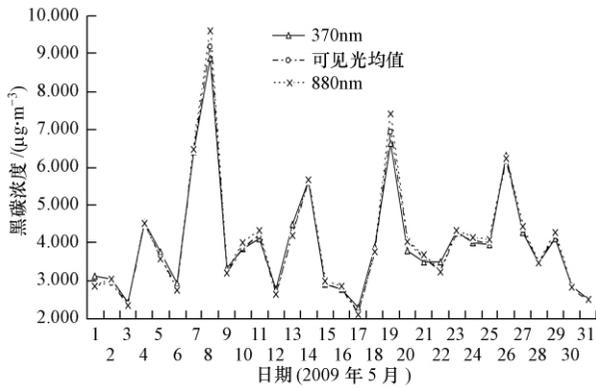


图1 鞍山春季黑碳气溶胶的质量浓度逐日变化

Fig. 1 Anshan spring black carbon aerosol mass concentration of day-to-day changes

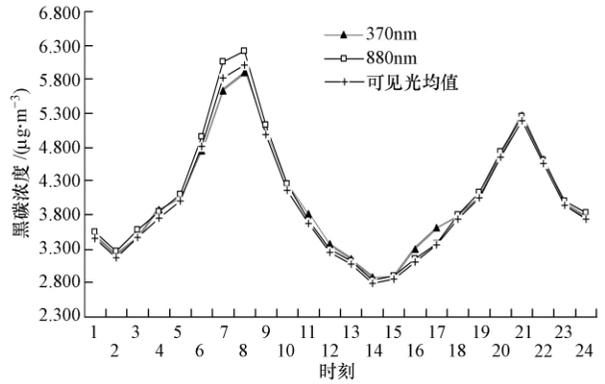


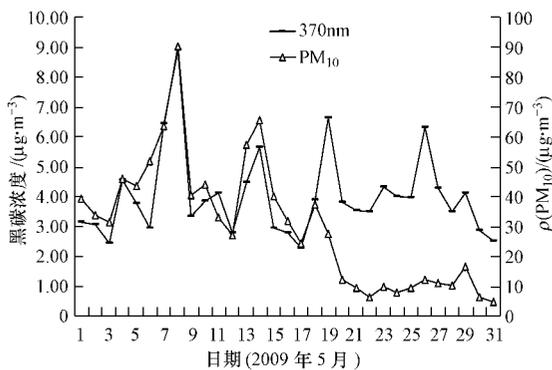
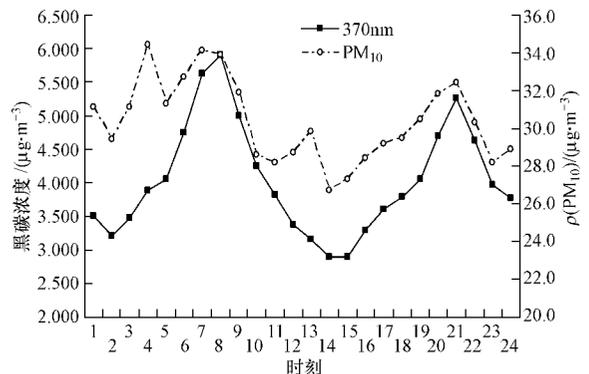
图2 鞍山春季黑碳气溶胶的质量浓度日变化

Fig. 2 Anshan spring black carbon aerosol mass concentration of the diurnal variation

2.2 BC 与 $PM_{1.0}$ 相关性分析

对该地区 GRIMM180 数浓度(NSD)谱分析结果可知,粒径 $\leq 1 \mu\text{m}$ 的粒子数占总粒子数 99.62%,说明 $1 \mu\text{m}$ 以下细粒子占主导地位,而且所占比例不变; $\rho(PM_{1.0})$ 对消光系数影响最大^[16],而黑碳粒径尺度主要为 $0.01\text{--}1.0 \mu\text{m}$ 370nm 波段浓度与工业污染、燃煤、交通等密切相关,因为黑碳各波段变化趋势相同,所以给出 370nm 波段黑碳浓度与 $\rho(PM_{1.0})$ 逐日变化曲线(图 3)和日变化曲线(图 4),便于分析黑碳气溶胶对光的吸收及颗粒物对光的散射对能见度的影响。

$\rho(\text{BC})$ 和 $\rho(PM_{1.0})$ 逐日变化趋势相同, $\rho(PM_{1.0})$ 日均值为 $30.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,浓度范围 $4.7\text{--}90.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. $\rho(\text{BC})$ 占 $\rho(PM_{1.0})$ 的比例月平均值为 22.6%,比例范围最小为 5.7%,最大为 57.1%. $\rho(\text{BC})$ 与 $\rho(PM_{1.0})$ 逐时相关分析: $\rho(\text{BC}) = 0.0548\rho(PM_{1.0}) + 2.3727$, (相关系数 $r = 0.5332$,小时均值样本数 $n = 744$). $\rho(\text{BC})$ 与 $\rho(PM_{1.0})$ 日变化相关分析: $\rho(\text{BC}) = 0.288\rho(PM_{1.0}) - 4.7048$, (相关系数 $r = 0.7461$),可知 $\rho(\text{BC})$ 与 $\rho(PM_{1.0})$ 日变化相关性显著。地面常规气象要素与黑碳浓度的相关性分析表明,黑碳浓度与湿度相关性不高,与温度呈正相关,与风速呈负相关。这主要因为黑碳气溶胶可产生正的辐射强迫,将加暖地面,而气温变化是气候效应最直观的度量;相对湿度大于(等于)70%时对粗粒子作用明显,5月份平均相对湿度大于70%只有3d,黑碳气溶胶粒径约在 $0.01\text{--}1.0 \mu\text{m}$ 之间,因此黑碳气溶胶浓度与湿度相关性不高;风速增大反映当地大气湍流扩散能力增强,不但对黑碳气溶胶进行水平搬运,而且有稀释冲淡的作用,故黑碳气溶胶浓度与风速呈负相关。

图3 $\rho(\text{BC})$ 和 $\rho(PM_{1.0})$ 逐日变化曲线Fig. 3 $\rho(\text{BC})$ and $\rho(PM_{1.0})$ daily variation curve图4 $\rho(\text{BC})$ 和 $\rho(PM_{1.0})$ 日变化曲线Fig. 4 $\rho(\text{BC})$ and $\rho(PM_{1.0})$ hourly variation curve

2.3 BC 浓度对能见度影响

黑碳气溶胶对光有很强的吸收作用,能够减小能见度,为了分析黑碳气溶胶与能见度之间关系,同

期采用 FD12 型前散射能见度仪给出春季 BC 浓度与能见度的日变化曲线(图 5)。从图 5 可知,各时刻 BC 浓度与能见度呈负相关(相关系数 $r = -0.7679$)。2009 年 5 月份日平均能见度 11725m,能见度日变化范围为 6206—19570m。大气能见度的好坏受大气对太阳光的散射和吸收的消光效应制约,能见度与消光系数呈反比,通常在城市环境中细粒子对光的散射是光衰减的最大因素,综合 2.2 节结果可知,BC 浓度变化与能见度大小呈反比,故空气的透明度较好,能见度就好。

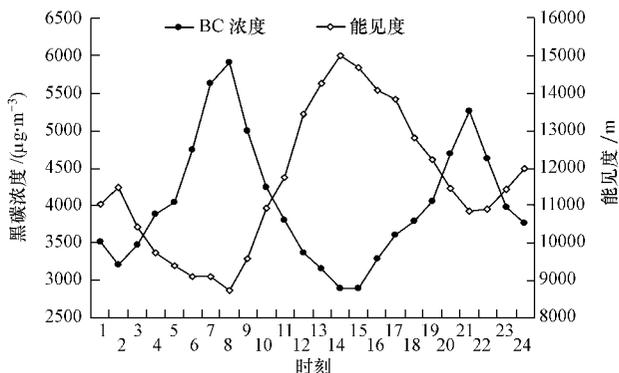


图 5 $\rho(\text{BC})$ 和能见度日变化曲线

Fig. 5 Diurnal variation curve of the visibility and $\rho(\text{BC})$

3 结论

(1) 2009 年 5 月,鞍山市大气以紫外光为检测光的黑碳浓度月均值为 $4.015 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,可见光为检测光的月均值为 $3.965 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,红外光为检测光的月均值为 $4.051 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,各波段变化趋势相同,黑碳气溶胶在紫外光和红外光测量的当量黑碳气溶胶浓度较可见光测量的值高。

(2) 黑碳气溶胶浓度与 $\text{PM}_{1.0}$ 质量浓度有很好地相关性, $\rho(\text{BC})$ 占 $\rho(\text{PM}_{1.0})$ 的比例月平均值为 22.6%,黑碳气溶胶浓度变化与湿度相关性不高,与温度呈正相关,与风速呈负相关。

(3) 黑碳气溶胶浓度与能见度大小呈反比,其对光的吸收是影响能见度的重要因素之一。

参 考 文 献

- [1] 张华,冯井会,郑有飞. 黑碳气溶胶辐射强迫全球分布的模拟研究[J]. 大气科学, 2008, 32(5): 1147-1158
- [2] 姜淑娟,毛节泰,王美华. 北京地区不同尺度气溶胶中黑碳含量的观测研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(1): 17-22
- [3] 石广玉,王标,张华,等. 大气气溶胶的辐射与气候效应[J]. 大气科学, 2008, 32(4): 826-840
- [4] 秦世广,汤洁,石广玉,等. 四川温江黑碳气溶胶浓度观测研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(8): 1731-1735
- [5] 毛节泰,李成才. 气溶胶辐射特性的观测研究[J]. 气象学报, 2005, 63(5): 622-635
- [6] Wu J, Jiang W M, Fu C B, et al. Simulation of the radiative effect of black carbon aerosols and the regional climate responses over China [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004, 21(4): 637-649
- [7] 张小曳. 中国大气气溶胶及其气候效应的研究[J]. 地球科学进展, 2007, 22(1): 30-34
- [8] 李杏茹,郭雪清,刘欣然,等. 北京市冬季大气气溶胶中 PAHs 的污染特征[J]. 环境化学, 2008, 27(4): 490-494
- [9] 谭吉华,段菁春,赵金平,等. 广州市灰霾期间大气颗粒物中有机碳和元素碳的粒径分布[J]. 环境化学, 2009, 28(2): 267-271
- [10] 陶俊,朱李华,韩静磊,等. 广州地区冬季黑碳气溶胶污染特征及其来源初探[J]. 中国环境监测, 2009, 25(2): 53-56
- [11] 杨溯,张武,韩晶晶,等. 上海浦东新区秋冬季黑碳气溶胶特性[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2008, 44(4): 66-70
- [12] Haywood J, Boucher O. Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols [J]. *A review Rev Geophys*, 2000, 38: 513-543
- [13] Ito A, Penner J E. Historical emissions of carbonaceous aerosols from biomass and fossil fuel burning for the period 1870—2000 [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2005, 19: GB2028, doi: 10.1029/2004GB002374
- [14] 汤洁,温玉璞,周凌晞. 中国西部大气清洁地区黑碳气溶胶的观测研究[J]. 应用气象学报, 1999, 10(2): 160-169
- [15] 马雁军,崔劲松,刘晓梅,等. 1987—2002 年辽宁中部城市群大气污染物变化特征分析[J]. 高原气象, 2005, 24(3): 428-434
- [16] 王绪鑫,王冀,向旬,等. 鞍山大气颗粒物浓度的变化特征[J]. 环境科学研究, 2009, 22(6): 656-662

OBSERVATIONAL OF BLACK CARBON AEROSOL IN ANSHAN

WANG Xuxin¹ MA Yanjun² XIANG Xun¹ DONG Xiuhui¹ AN Junlin³

(1. Anshan City Bureau of Meteorology ,Anshan ,114004 ,China;

2. Shenyang Institute of Atmospheric Environment , China Meteorological Administration ,Shenyang , 110016 , China;

3. Department of Applied Meteorology ,Nanjing University of Information Science & Technology , Nanjing ,210044 , China)

ABSTRACT

Black carbon(BC) aerosol and PM_{1.0} aerosols have been measured with an Aethalometer and GRIMM180 at Anshan atmosphere station in May ,2009. The results indicated that average BC daily concentration was 4.015 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ by wavelength 370nm ,3.965 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ by wavelength visible light and 4.051 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ by wavelength 880nm. The average PM_{1.0} daily concentration was 30.4 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Black carbon aerosol of wavelengths varied in the same trend. The black carbon concentration measured by wavelength 370nm and 880nm was higher than other wavelengths. There was a good correlation between BC and PM_{1.0}. BC ratio of PM_{1.0} accounted for 22.6% . BC was inversely proportional to visibility in size ,and its light absorption was one of the important factors which affected the visibility.

Keywords: black carbon aerosol ,PM_{1.0} ,visibility.