

# 南通市 $PM_{2.5}$ 中水溶性离子季节分布特征

蒋荣, 钱震

(江苏省南通环境监测中心, 江苏 南通 226006)

**摘要:**对南通市2016年12月—2018年10月大气污染季节分布特征进行了分析。结果表明,南通市 $\rho(PM_{2.5})$ 和 $\rho$ (水溶性离子)为冬、春季高,夏、秋季低。春夏秋冬四季 $\rho$ (水溶性离子)占 $\rho(PM_{2.5})$ 百分比分别为68.2%, 70.6%, 64.5%和74.5%,其中二次离子SNA( $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 和 $NH_4^+$ )占 $\rho(PM_{2.5})$ 的百分比分别为63.1%, 67.0%, 59.3%和66.8%; $\rho(NO_3^-)/\rho(SO_4^{2-})$ 表明,移动源已成为南通市春、秋、冬季的主要污染源,四季均存在不同程度的二次转化,且 $SO_2$ 的转化率均大于 $NO_2$ , $NO_2$ 冬季转化率最大、夏季最小, $SO_2$ 夏季转化率最大、秋季最小。南通市 $NO_2$ 转化为硝酸盐的主要形式是气相均相反应,非均相反应和均相反应对 $SO_2$ 转化为硫酸盐的贡献差异不大。

**关键词:**水溶性离子;细颗粒物;二次转化;南通

中图分类号:X823

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2021)01-0052-04

## Seasonal Distribution Characteristics of Water-soluble Ions in $PM_{2.5}$ in Nantong

JIANG Rong, QIAN Zhen

(Jiangsu Nantong Environmental Monitoring Center, Nantong, Jiangsu 226006, China)

**Abstract:** The seasonal distribution characteristics of atmospheric pollution from December 2016 to October 2018 in Nantong were analyzed. During the study period, the concentrations of  $PM_{2.5}$  and water-soluble ions in Nantong are higher in winter and spring and lower in summer and autumn. In spring, summer, autumn and winter, water-soluble ions contributed 68.2%, 70.6%, 64.5%, 74.5% of  $PM_{2.5}$  (mass ratio) respectively, among which SNA ( $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  and  $NH_4^+$ ) contributed 63.1%, 67.0%, 59.3%, 66.8% respectively. The  $\rho(NO_3^-)/\rho(SO_4^{2-})$  ratio implied that mobile source has become the main pollution source in spring, autumn and winter in Nantong. There are different degrees of secondary reactions in the four seasons, and the reaction ratio of  $SO_2$  is greater than that of  $NO_2$ . The reaction ratio of  $NO_2$  is the highest in winter and the lowest in summer, and the reaction ratio of  $SO_2$  is the highest in summer and the lowest in autumn. The main form of  $NO_2$  conversion to nitrate in Nantong is gas homogeneous reaction. Heterogeneous and homogeneous reactions contribute equally to the conversion of  $SO_2$  to sulfate.

**Key words:** Water-soluble ions;  $PM_{2.5}$ ; Secondary reaction; Nantong

水溶性离子是细颗粒物( $PM_{2.5}$ )的重要组成部分,可占到其总质量浓度的40%以上<sup>[1]</sup>。文献[2-3]表明,水溶性离子可以吸收和散射太阳辐射,改变地面辐射收支平衡,是影响大气能见度的主要原因之一,还会影响云凝结核的浓度、影响降雨的酸碱性,较强的亲水性还可以增加有毒有机物质的溶解性,影响人体健康<sup>[4]</sup>。目前,对水溶性离子的研究范围主要是国内和国外发达城市或区域<sup>[5-9]</sup>,其方法主要是膜采样法,内容涵盖水溶性

离子组分特征、浓度变化及其对 $PM_{2.5}$ 的贡献、粒径分布和垂直分布、时空分布、二次转化、相关性分析等<sup>[10-13]</sup>。

南通市属南部沿海城市,东临黄海,海洋气流的影响决定了其污染物传输扩散的独特性。现采用2016年12月—2018年10月的在线连续监测数据,对南通市 $PM_{2.5}$ 中水溶性离子季节分布特征进行研究。

收稿日期:2020-06-11;修订日期:2020-07-27

基金项目:江苏省 $PM_{2.5}$ 和臭氧污染协同控制重大专项( $PM_{2.5}$ 、臭氧及其前体物监测体系、质控质保体系研究及示范应用)基金资助项目

作者简介:蒋荣(1987—),女,工程师,硕士,从事环境监测与预警工作。

## 1 研究方法

### 1.1 数据来源

PM<sub>2.5</sub>和水溶性离子的数据均来源于南通市大气多参数站24 h连续在线采样分析数据,时间分辨率为1 h。同时具有PM<sub>2.5</sub>和水溶性离子有效数据的小时数据为样本,共获取样本数15 594个,其中春、夏、秋、冬四季分别获取样本数4 176,4 291,3 032和4 095个。2018年10月以后,南通市大气多参数站站房搬迁,为了保证数据的可比性,未将搬迁后的数据计入该次的研究范围,因此秋季相对缺少一个月数据。

### 1.2 数据时间

2016年12月—2018年10月。参照农历立春时间,将每年的3—5月划分为春季,6—8月划分为夏季,9—11月划分为秋季,1、2和12月划分为冬季。

### 1.3 监测站点

站点位于江苏省南通环境监测中心大楼楼顶(经度120°51′36″,纬度30°0′2″),距离地面约20 m,周围主要是居住区,站点临近马路,无明显工业或者农业污染源。

### 1.4 采样仪器

PM<sub>2.5</sub>的监测设备为PM<sub>2.5</sub>在线监测仪BAM1020,分析方法采用β射线法。水溶性离子的监测设备为在线离子色谱分析仪Marga 1S,利用加装了旋风式PM<sub>2.5</sub>切割器的蒸汽喷射气溶胶在线采样器(SJAC, Steam Jet Aerosol Collector)获取逐时的气溶胶浓度数据。

### 1.5 监测项目

PM<sub>2.5</sub>、铵离子(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、钠离子(Na<sup>+</sup>)、钾离子(K<sup>+</sup>)、钙离子(Ca<sup>2+</sup>)、镁离子(Mg<sup>2+</sup>)、硫酸根离子(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)、硝酸根离子(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、氯离子(Cl<sup>-</sup>)。

## 2 结果与分析

### 2.1 ρ(PM<sub>2.5</sub>)

不同季节ρ(PM<sub>2.5</sub>)见表1。春夏秋冬四季PM<sub>2.5</sub>均值分别为44,28,29和56 μg/m<sup>3</sup>,冬季PM<sub>2.5</sub>均值明显高于其他季节,约为春季的1.3倍,约为夏季和秋季的2倍,约为研究时段均值的1.4倍。根据《GB 3095—2012》<sup>[14]</sup>PM<sub>2.5</sub>年均值二级标准(35 μg/m<sup>3</sup>),冬季和春季PM<sub>2.5</sub>均值分别为标准限值的1.6和1.3倍,夏季和秋季PM<sub>2.5</sub>均值达标。

冬季气温低,大气层结稳定,大气边界层高度低,浓雾、逆温等不利于大气气态及颗粒污染物扩

散的气象条件频发,且常有冷空气携带污染物南下影响,导致大气污染最为严重;春季风大,沙尘暴频发,沙尘借助强劲的西北风长距离输送,导致沿途大气不同程度污染;夏秋季气温高,大气对流强烈,降水频繁,植被覆盖度较大,利于大气气态及颗粒污染物的稀释和清除,所以夏秋季大气污染相对较轻。

表1 不同季节ρ(PM<sub>2.5</sub>)

| 季节 | 统计时间                                | 样本数    | 均值/<br>(μg·m <sup>-3</sup> ) |
|----|-------------------------------------|--------|------------------------------|
| 春  | 2017-03-05,2018-03-05               | 4 176  | 44                           |
| 夏  | 2017-06-08,2018-06-08               | 4 291  | 28                           |
| 秋  | 2017-09-11,2018-09-10               | 3 032  | 29                           |
| 冬  | 2016-12-2017-02,<br>2017-12-2018-02 | 4 095  | 56                           |
| 均值 | 2016-12-2018-10                     | 15 594 | 39                           |

### 2.2 水溶性离子的污染特征

#### 2.2.1 ρ(水溶性离子)季节变化

为了分析不同季节水溶性离子污染程度及其对大气污染源的贡献,图1(a)(b)为不同季节各种水溶性离子的平均值及其占ρ(PM<sub>2.5</sub>)的百分比。

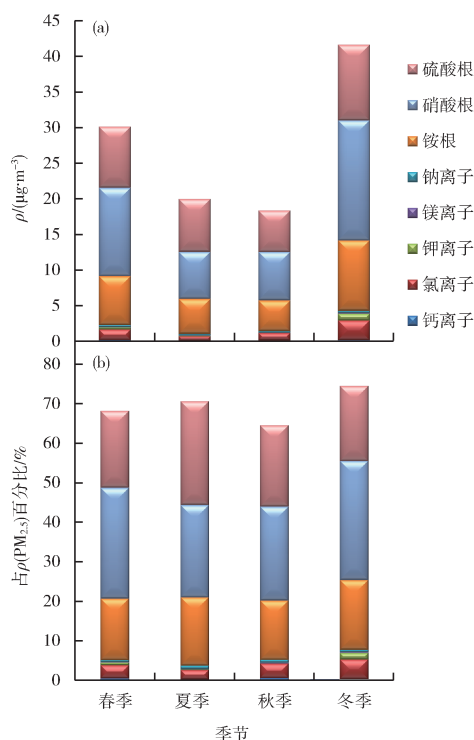


图1 不同季节ρ(水溶性离子)及其占ρ(PM<sub>2.5</sub>)的百分比

由图 1 可见,各  $\rho$ (水溶性离子)<sub>总</sub> 为:冬季 > 春季 > 夏季 > 秋季,依次为 41.6, 30.1, 20.0 和 18.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;各  $\rho$ (水溶性离子)总和占  $\rho(\text{PM}_{2.5})$  百分比为:冬季 > 夏季 > 春季 > 秋季,依次为 74.5%, 70.6%, 68.2% 和 64.5%。其中,春季  $\rho$ (水溶性离子) > 夏季,但其占  $\rho(\text{PM}_{2.5})$  百分比却 < 夏季,推测可能是春季干燥风大,扬尘大,夏季降水较多,扬尘小,导致土壤来源的气溶胶含量春季 > 夏季,本次研究也表明,土壤扬尘的标识元素  $\rho$ (钙离子)春季(0.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )明显高于夏季(0.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),土壤来源的气溶胶含有大量水不溶性组分和地壳元素,因而降低了  $\rho$ (水溶性离子)占  $\rho(\text{PM}_{2.5})$  百分比。冬季各  $\rho$ (水溶性离子)及其占  $\rho(\text{PM}_{2.5})$  的百分比均为最高,表明水溶性离子是 PM<sub>2.5</sub> 的重要组成成分,且均会随大气污染程度的加剧而升高。

各季节主要的水溶性离子都是二次离子 SNA ( $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NH}_4^+$ ),春夏秋冬四季, $\rho$ (SNA)之和分别为 27.9, 18.9, 16.9 和 37.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $\rho$ (SNA)占  $\rho$ (水溶性离子)总和分别为 92.4%, 94.8%,

91.9% 和 89.7%, $\rho$ (SNA)占  $\rho(\text{PM}_{2.5})$  分别为 63.1%, 67.0%, 59.3% 和 66.8%,这反映了南通市大气中存在较明显的二次污染特征。春秋冬季, $\rho(\text{NO}_3^-)$ 最高,分别为 12.4, 6.8 和 16.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,占  $\rho(\text{PM}_{2.5})$  分别为 28.0%, 23.8%, 30.1%;夏季  $\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 最高,为 7.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,占  $\rho(\text{PM}_{2.5})$  为 26.3%。 $\rho(\text{NO}_3^-)$ 在夏季相对较低,可能是夏季太阳辐射较强、温度高, $\text{NO}_3^-$ 在高温下易分解。

长三角主要城市  $\rho$ (水溶性离子)及占比见表 2。由表 2 可见,与周边城市相比,南通市各季节  $\rho$ (水溶性离子)<sub>总</sub> 相对较低,仅夏季和冬季 > 上海,但  $\rho$ (水溶性离子)<sub>总</sub> 占  $\rho(\text{PM}_{2.5})$  的百分比相对较高。二次离子 SNA 为南通及周边城市的水溶性离子主要成分,除南京夏季外, $\rho$ (SNA)占  $\rho$ (水溶性离子)<sub>总</sub> 均 > 80%。受采样时间、采样方式、城市空气湿度、城市污染物扩散条件差异的影响,城市之间  $\rho$ (水溶性离子)及占比情况存在一定的差异,但均能反映出水溶性离子是 PM<sub>2.5</sub> 重要组分,二次离子是水溶性离子重要组分。

表 2 长三角主要城市  $\rho$ (水溶性离子)及占比<sup>①</sup>

| 城市                    | 时间                      | 春季                                      |          |          | 夏季                                      |          |          | 秋季                                      |          |          | 冬季                                      |          |
|-----------------------|-------------------------|---|----------|----------|---|----------|----------|---|----------|----------|---|----------|
|                       |                         | A/( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | (B/A) /% | (A/C) /% | A/( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | (B/A) /% | (A/C) /% | A/( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | (B/A) /% | (A/C) /% | A/( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | (B/A) /% |
| 南通                    | 2016-12-2018-10         | 30.1                                    | 94.2     | 68.2     | 20                                      | 94.8     | 70.6     | 18.4                                    | 91.9     | 64.5     | 41.6                                    | 89.7     |
| 上海 <sup>[8-9]</sup>   | 2016-11-2018-05-08      |   |          |          | 14                                      | 85.7     | 42.4     |   |          |          | 21.8                                    | 91.1     |
| 苏州 <sup>[15]</sup>    | 2015-04,08,10,12        | 47.19                                   | 89.7     | 60.1     | 34.66                                   | 86.3     | 60.9     | 39.19                                   | 91.8     | 57.6     | 57.74                                   | 84.9     |
| 南京 <sup>[16-17]</sup> | 2017-03-2018-12,2019-01 | 70                                      | 83.7     | 56.3     | 29.6                                    | 76       | 39       | 47.6                                    | 82.1     | 50.7     | 59.01                                   | 89.06    |
| 合肥 <sup>[18]</sup>    | 2014-04,08,10,12        | 38.93                                   | 97.4     |          | 36.61                                   | 96       |          | 51.13                                   | 94.4     |          | 43.51                                   | 86.7     |

①  $\rho$ (水溶性离子)总:A; $\rho$ (SNA):B; $\rho(\text{PM}_{2.5})$ :C。

### 2.2.2 $\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 及其二次转化

$\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 通常被用作判断固定源和移动源对大气污染贡献量大小的指标<sup>[19]</sup>, $\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 越大(>1),说明汽车尾气等移动源的贡献量越大, $\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 越小(<1),说明燃煤等固定源的贡献量越大。已知  $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  等气态污染物在复合大气中通过复杂的二次理化反应能够生成硝酸盐和硫酸盐,为评估其二次转化程度,采用氮氧化率(NOR)和硫氧化率(SOR)来对其进行定量分析,通常以 0.1 作为一次排放和二次转化的分界值,NOR 和 SOR 越高,表明其二次转化程度越高<sup>[20]</sup>。

NOR 和 SOR 计算公式为:

$$\text{NOR} = n(\text{NO}_3^-) / [n(\text{NO}_3^-) + n(\text{NO}_2)] \quad (1)$$

$$\text{SOR} = n(\text{SO}_4^{2-}) / [n(\text{SO}_4^{2-}) + n(\text{SO}_2)] \quad (2)$$

式中: $n(\text{NO}_3^-)$ 、 $n(\text{NO}_2)$ 、 $n(\text{SO}_4^{2-})$ 、 $n(\text{SO}_2)$ ——硝酸根、二氧化氮、硫酸根、二氧化硫的物质的量。

$\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 及其二次转化见表 3。由表 3 可见,除夏季外,南通市  $\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$  均 > 1,冬季(1.59)最高,说明移动源已经成为南通市春、秋、冬季的主要污染源。随着经济的发展,人民生活水平的提高,汽车保有量不断增长,加剧了硝酸盐等氮氧化物的排放,另外南通市濒江临海,

繁忙的航运也可能是贡献较大的移动源。同时,南通市积极响应国家环保政策,燃煤和燃油的脱硫技术不断更新进步,极大地降低了硫酸盐等硫氧化物的排放。冬季 $\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 最高,可能是因为冬季寒冷,机动车出行率高,且寒冷天气不利于汽油等燃料的充分燃烧,加剧了硝酸盐前体物氮氧化物的排放,同时寒冷的天气会抑制 $\text{NO}_3^-$ 的挥发,从而导致 $\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 高。夏季则反之,南通市夏季高温高湿,太阳辐射强,有利于 $\text{NO}_3^-$ 的分解、挥发,也有利于汽油等燃料的充分燃烧,因而夏季 $\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 相对较低(0.89)。

表3  $\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 及其二次转化

| 指标   | 春季   | 夏季   | 秋季   | 冬季   | 均值   |
|--|------|------|------|------|------|
| $\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$ | 1.44 | 0.89 | 1.16 | 1.59 | 1.27 |
| NOR  | 0.18 | 0.13 | 0.14 | 0.24 | 0.18 |
| SOR  | 0.27 | 0.30 | 0.26 | 0.29 | 0.28 |

NOR和SOR值均 $>0.1$ ,表明南通市 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 在各季节均存在不同程度的二次转化,且各季节SOR值均 $>$ NOR,说明南通市 $\text{SO}_2$ 在大气中的转化率 $>$  $\text{NO}_2$ 。 $\text{NO}_2$ 在冬季和春季的二次转化率明显 $>$ 夏季和秋季,冬季最大,为0.24,夏季最小,为0.13; $\text{SO}_2$ 在各季节的二次转化率差异较小,夏季最大,为0.30,秋季最小,为0.26。

已知 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 在大气中由气态污染物转化为硝酸盐或硫酸盐,有均相氧化反应和非均相氧化反应2种形式。 $\text{NO}_2$ 的均相反应主要是在OH自由基的氧化作用下与氨反应生成 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ;非均相反应主要是在OH自由基的氧化能力不足的情况下, $\text{NO}_2$ 被 $\text{O}_3$ 氧化成 $\text{N}_2\text{O}_5$ , $\text{N}_2\text{O}_5$ 再液相氧化成硝酸盐。可见非均相氧化与 $\rho(\text{O}_3)$ 和湿度有关,南通地区夏季 $\rho(\text{O}_3)$ 高、相对湿度大,利于非均相液相反应,而研究得出夏季NOR值却为最低,寒冷干燥的冬季NOR值则最高,推测南通地区 $\text{NO}_2$ 转化为硝酸盐的主要形式是气相均相反应,这与蒋琳等<sup>[12]</sup>在长江三角洲地区的研究结论一致。

$\text{SO}_2$ 的均相反应主要是OH自由基或 $\text{O}_3$ 的气相氧化,受温度、OH自由基、太阳辐射强度影响,非均相反应主要是在云水或气溶胶液滴表面的氧化反应,与相对湿度、颗粒物浓度有关。研究得出SOR值在夏季和冬季相对较高,南通地区夏季相对湿度大、冬季颗粒物浓度高,利于非均相反应,推

测非均相反应是南通地区 $\text{SO}_2$ 转化为硫酸盐的主要途径,但春秋两季的SOR值与夏冬季差异并不显著,表明均相反应对 $\text{SO}_2$ 向硫酸盐的转化也有一定的贡献。

### 3 结论

(1)南通市 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 和 $\rho$ (水溶性离子)为春季高、夏秋季低,水溶性离子占 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 百分比为:冬季 $>$ 夏季 $>$ 春季 $>$ 秋季;二次离子 $\text{SNA}(\text{NO}_3^-、\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NH}_4^+)$ 在各季节均为水溶性离子及 $\text{PM}_{2.5}$ 的主要组分;

(2) $\rho(\text{NO}_3^-)/\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 分析表明移动源已经成为南通市春、秋、冬季的主要污染源,冬季最为显著;

(3)南通市 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 在各季节均存在不同程度的二次转化,且各季节 $\text{SO}_2$ 的转化率均 $>$  $\text{NO}_2$ ; $\text{NO}_2$ 冬季转化率最大,夏季最小; $\text{SO}_2$ 夏季转化率最大,秋季最小。

推测南通市 $\text{NO}_2$ 转化为硝酸盐的主要形式是气相均相反应,非均相反应和均相反应对 $\text{SO}_2$ 转化为硫酸盐的贡献差异较小,但仅凭NOR值和SOR值的季节差异判断其二次转化形式,存在一定的偏颇,今后还需采集更长时间的样本,并同时分析NOR值、SOR值与相对湿度、颗粒物、 $\text{O}_3$ 等因素的相关性,进一步研究确认。

### [参考文献]

- [1] 吴丹, 蔺少龙, 杨焕强, 等. 杭州市 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子的污染特征及其消光贡献[J]. 环境科学, 2017, 38(7): 2656-2666.
- [2] 滕加泉, 程钟, 梁丹妮, 等. 常州市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子组成及来源[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 38(7): 1368-1373.
- [3] 郭安可, 郭照冰, 张海潇, 等. 南京北郊冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子以及碳质组分特征分析[J]. 环境化学, 2017, 36(2): 248-255.
- [4] 文彬, 孔少飞, 银燕, 等. 秋季南通近海大气气溶胶水溶性离子粒径分布特征[J]. 中国环境科学, 2014, 34(1): 49-56.
- [5] LONATI G, GIUGLIANO M, BUTELLI P, et al. Major chemical components of  $\text{PM}_{2.5}$  in Milan (Italy)[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(10): 1925-1934.
- [6] 刀谓, 张霖琳, 王超, 等. 京津冀冬季与夏季 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 及其水溶性离子组分区域性污染特征分析[J]. 环境化学, 2015, 34(1): 60-69.
- [7] 马莹, 吴兑, 刘建, 等. 广州干湿季典型灰霾过程水溶性离子成分对比分析[J]. 环境科学学报, 2017, 37(1): 73-81.

(下转第60页)

由图 5 可见,这 4 个点位上半年的降尘量与  $\rho(\text{PM}_{10})$ 、 $\rho(\text{PM}_{2.5})$  变化趋势基本一致,呈现先降低再增大再降低的规律,即在春季升高,夏季降低;而下半年,降尘量与  $\rho(\text{PM}_{10})$ 、 $\rho(\text{PM}_{2.5})$  变化趋势略有差异, $\rho(\text{PM}_{10})$ 、 $\rho(\text{PM}_{2.5})$  逐渐升高,但是降尘量呈锯齿状变化,表明降尘量与  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$  具有季节分异性,主要原因可能是受地理位置和地形、人为活动以及气象条件影响。

### 3 结论

(1) 2018 年连云港市平均降尘量为  $11.6 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot 30 \text{ d})$ ,超过江苏省考核标准,超标倍数为 0.93,呈现出先增大再降低再增大的规律,春季、秋季降尘量最高,与大风、干燥天气有关;2019 年降尘量明显降低,除了春季(3 和 4 月)超标,其他季节均达标。

(2) 2018 年除了 8 月,县区降尘量均高于市区;市区降尘量变化比较平稳,除了冬季达标外,其他季节均超过江苏省考核标准;而县区下半年月变化幅度比较大,降尘量冬季最高,夏季最低,其中赣榆区降尘量最大,除了受气象条件影响,人为活动以及周边环境对降尘也有影响。

(3) 17 个监测点中,2018 年各监测点降尘分布存在明显差异,2019 年差异略小,部分监测站点周边存在裸露地块,道路和建筑施工、大货车物流运输等扬尘源排放显著,造成扬尘较大。

(4) 市站、胡沟、德源、矿山院 4 个监测点 2018

年上半年的降尘量与  $\rho(\text{PM}_{10})$ 、 $\rho(\text{PM}_{2.5})$  变化趋势基本一致,下半年变化趋势略有差异,降尘量与  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$  具有季节分异性;4 个监测点位的降尘量与  $\text{PM}_{2.5}$  及  $\text{PM}_{10}$  相关性较高,说明降尘与  $\text{PM}_{2.5}$  及  $\text{PM}_{10}$  的来源具有一致性。

### [参考文献]

- [1] 姚喜军,张宇,吴全,等. 鄂尔多斯市伊金霍洛旗矿区降尘特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2017,9(31):81-86.
- [2] 唐杨,徐志方,韩贵琳. 北京及其北部地区大气降尘时空分布特征[J]. 环境科学与技术,2011,2(34):115-119.
- [3] 蔺昕,李晓军,胡涛,等. 北方典型城市降尘时空分布特征及影响因素分析[J]. 生态环境,2008,17(1):143-146.
- [4] 靳楠. 铜川市空气中降尘变化特征及污染防治[J]. 中国环境管理干部学院学报,2019,29(2):77-80.
- [5] 张洁,高海燕,王燕萍,等. 兰州市大气降尘时空变化特征[J]. 环境研究与监测,2019,32(4):31-36.
- [6] 韩爱梅. 2017 年 8 月-2018 年 5 月太原市月降尘量变化及原因分析[J]. 山西科技,2019,34(1):133-135.
- [7] 张慧,姚建霞,姚淑萍,等. 2007—2016 年石嘴山市大气降尘分布特征研究[J]. 宁夏农林科技,2019,60(1):58-62.
- [8] 潘光,李少洛,朱丽,等. 济南市降尘通量时空分布特征研究[J]. 生态环境学报,2019,28(9):1802-1809.
- [9] 张群,傅寅,张予燕,等. 浅析南京市大气降尘规律[J]. 环境科学与管理,2009,34(4):68-71.
- [10] 陈程,张丽,姚瑶,等. 连云港春季  $\text{PM}_{2.5}$  中主要水溶性无机离子污染特征及来源解析[J]. 环境监控与预警,2019,11(6):41-46.

栏目编辑 李文峻

(上接第 55 页)

- [8] 王心培,王格慧,谢郁宁,等. 长三角背景点夏季大气  $\text{PM}_{2.5}$  中水溶性无机离子污染特征及来源解析[J]. 环境科学研究,2019,12(1):1-16.
- [9] 林昕,曹芳,翟晓瑶,等. 中国典型城市冬季大气细颗粒物水溶性离子特征及来源分析[J]. 生态环境学报,2019,28(2):307-315.
- [10] 杨懂艳,刘保献,张大伟,等. 2012~2013 年间北京市  $\text{PM}_{2.5}$  中水溶性离子时空分布规律及相关性分析[J]. 环境科学,2015,36(3):768-773.
- [11] 赵金平,张福旺,徐亚,等. 滨海城市不同粒径大气颗粒物中水溶性离子的分布特征[J]. 生态环境学报,2010,19(2):300-306.
- [12] 蒋琳,朱彬,王磊磊,等. 霾与轻雾天气下水溶性离子的组分特征——冬季长江三角洲地区一次污染过程分析[J]. 中国环境科学,2017,37(10):3601-3610.
- [13] 操文祥,陈楠,田一平,等. 武汉地区秋冬季清洁与重污染过程的水溶性离子特征研究[J]. 环境科学学报,2017,37(1):82-88.
- [14] 环境保护部,国家质量监督检验检疫总局. 环境空气质量标准:GB 3095—2012[S]. 北京:中国环境科学出版社,2012.
- [15] 王念飞,陈阳,郝庆菊,等. 苏州市  $\text{PM}_{2.5}$  中水溶性离子的季节变化及来源分析[J]. 环境科学,2016,37(12):4482-4488.
- [16] 王鑫,安俊琳,苏筱倩,等. 南京北郊水溶性离子污染特征及其光学特性[J]. 中国环境科学,2020,40(2):506-512.
- [17] 邱晨晨,于兴娜,丁铖,等. 南京江北新区冬季  $\text{PM}_{2.5}$  中化学组分的昼夜变化特征及其来源解析[J]. 环境科学,2020,41(2):529-535.
- [18] 陈刚,刘佳媛,黄甫延琦,等. 合肥城区  $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  季节污染特征及来源解析[J]. 中国环境科学,2016,36(7):1938-1946.
- [19] 张秋晨,朱彬,龚佃利. 南京地区大气气溶胶及水溶性无机离子特征分析[J]. 中国环境科学,2014,34(2):311-316.
- [20] 王晓琦,周颖,程水源,等. 典型城市冬季  $\text{PM}_{2.5}$  水溶性离子污染特征与传输规律研究[J]. 中国环境科学,2016,36(8):2289-2296.