

李惠玲,何秉宇,玉米提·哈力克,等. 干旱区城市森林大气颗粒物浓度变化特征及其与环境因子的关系[J]. 江苏农业科学,2020,48(18):294-299.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.18.056

# 干旱区城市森林大气颗粒物浓度变化特征及其与环境因子的关系

李惠玲<sup>1</sup>, 何秉宇<sup>1,2</sup>, 玉米提·哈力克<sup>1,3</sup>, 娜斯曼·那斯尔丁<sup>1,3</sup>, 张凯迪<sup>1</sup>

(1. 新疆大学资源与环境科学学院,新疆乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学智慧城市与环境建模自治区普通高校重点实验室,新疆乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室,新疆乌鲁木齐 830046)

**摘要:**干旱区城市颗粒物如可吸入颗粒物( $PM_{10}$ )、细颗粒物( $PM_{2.5}$ )以及超细颗粒物( $PM_{1.0}$ )受到越来越多的关注。根据新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市燕儿窝生态林大气颗粒物( $PM_{1.0}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ )浓度、温度、相对湿度、风速等环境因子数据,对干旱区城市森林内大气颗粒物浓度时间变化规律进行分析。结果表明:(1)3种颗粒物( $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{1.0}$ )的日变化较为相似,均呈现“早晚高,中午低”的浅“V”形变化趋势。(2)3种颗粒物季节变化均表现为冬季>秋季>春季>夏季,其中冬春2季林地内浓度小于林地外,而夏秋2季林地内浓度大于林地外。(3)环境因子与3种不同粒径大气颗粒物浓度存在显著相关关系,相对湿度、风速与颗粒物浓度呈显著正相关,温度与颗粒物浓度呈显著负相关。

**关键词:**大气颗粒物;环境因子;干旱区城市森林; $PM_{10}$ ; $PM_{2.5}$ ; $PM_{1.0}$

**中图分类号:**X513 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)18-0294-06

大气污染是当今不可忽视的重要环境问题,而大气颗粒物含量增多是造成大气污染的原因之一。大气颗粒物来源复杂,尤其是细颗粒物( $PM_{2.5}$ )可进入人体血液系统,诱发血管疾病和呼吸道疾病<sup>[1]</sup>,对人类健康造成极大危害;此外,大气颗粒物也是导致空气能见度降低、影响全球气候变化的主要因素之一<sup>[2-3]</sup>。城市森林对大气颗粒物具有较大的调控和吸收净化作用,研究该环境中超细颗粒物( $PM_{1.0}$ )、 $PM_{2.5}$ 、可吸入颗粒物( $PM_{10}$ )的浓度变化,对治理城市大气污染意义重大<sup>[4]</sup>。

目前,关于大气颗粒物的研究多在交通污染区、居民区等,对大气颗粒物的成分解析、来源分析、危害评价等研究<sup>[5-7]</sup>较多,而对城市森林内外大气颗粒物浓度差异研究较少。由于区域污染来源存在差异,大气颗粒物污染特征有所不同<sup>[8-9]</sup>,各地的气候条件及植物类型存在差异,导致各地区大气

颗粒物浓度动态变化的情况也不同<sup>[10-11]</sup>;因此,对干旱区城市森林的大气颗粒物浓度研究显得尤为重要。本研究以新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市燕儿窝生态林为研究区,分析燕儿窝生态林空气质量浓度的差异及影响因素,探讨大气颗粒物质量浓度与气象因子的关系,旨在为大气颗粒物污染和治理研究提供理论依据。

## 1 研究区概况

燕儿窝生态林位于新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市天山区,位于 $43^{\circ}69' \sim 43^{\circ}74'N$ , $87^{\circ}58' \sim 87^{\circ}59'E$ ,海拔939 m,占地面积约 $350 \text{ hm}^2$ 。研究区属温带大陆性气候,林地内主要树种为白榆,其次是杨树、柳树、野蔷薇等。作为乌鲁木齐市唯一的一块天然林地,燕儿窝生态林是乌鲁木齐的防风护沙的天然屏障,对乌鲁木齐市生态系统至关重要。

## 2 研究方法

### 2.1 监测点设置

根据研究区的形状和面积,本研究共设监测点位2处,分别位于燕儿窝生态林的林地内部和林地外部。为使所得数据更具有科学研究性和代表性,燕儿窝生态林内部监测点设置于人为活动较少且

收稿日期:2019-10-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:3177030663)。

作者简介:李惠玲(1995—),女,四川达州人,硕士研究生,主要从事环境科学研究。E-mail:1601761834@qq.com。

通信作者:何秉宇,硕士,副教授,主要从事环境科学与资源利用研究。E-mail:byhe718@163.com。

自然生长树木集中的区域,林外监测点设置于距燕尔窝生态林 20 m 的河滩快速路旁。

## 2.2 数据获取

### 2.2.1 大气颗粒物浓度数据

在距离地面 1.5 m 高度同步监测颗粒物浓度与气象因子。大气颗粒物检测设备为 BR-HOL-1216 空气质量检测仪,该仪器可同时检测  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{1.0}$  3 种粒径的大气颗粒物,测量范围为 0 ~ 1 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,分辨率为 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

乌鲁木齐市气候四季分明,从当年 3 月开始至次年 2 月,每 3 个月为 1 个季度。日变化数据选取:监测时间为 2018 年 10 月至 2019 年 9 月,分别在每个季节选择 3 ~ 5 d 晴朗微风日,每天 08:00—18:00 每隔 30 min 测试 1 次,收集不同颗粒物( $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  和  $PM_{1.0}$ )的浓度数据。

### 2.2.2 气象数据

采用手持自动气象仪测定温度( $^{\circ}\text{C}$ )、相对湿度(%)、风速( $\text{m}/\text{s}$ )。

## 2.3 数据处理

使用 Excel 2016 和 SPSS 17.0 分析数据并作图。

## 3 结果与分析

### 3.1 大气颗粒物浓度的时间变化规律

#### 3.1.1 大气颗粒物日变化规律

通过对林地内、林地外监测点的实时大气质量监测,获得监测点近地面 1.5 m 高度 3 种大气颗粒物的日浓度变化。由图 1 可知,林地内外 3 种颗粒物每小时质量浓度平均值的变化趋势大致相同,日变化曲线近似“V”形。在早晨和傍晚,3 种颗粒物浓度出现相对高值,其中 08:00 的浓度略高于 18:00 的浓度;而在中午,3 种颗粒物均达到相对低值,其中  $PM_{1.0}$  在 14:00 达到一天中的最低值,而  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  分别在 14:00、15:00 达到 1 d 中的最低值。

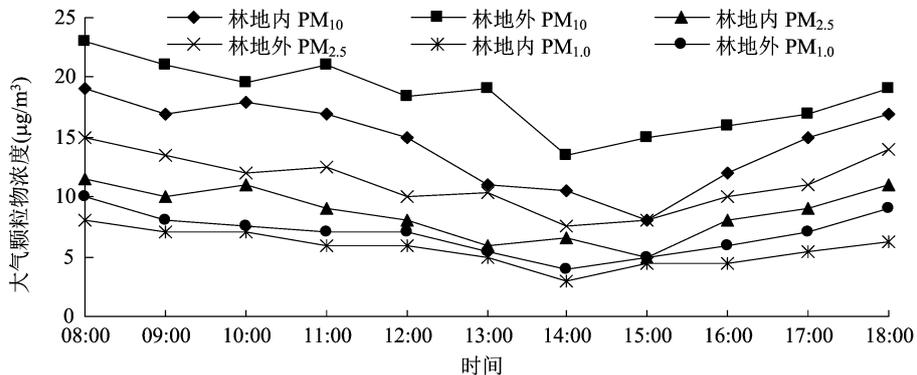


图1 大气颗粒物日变化规律

3 种颗粒物均呈现出明显的日变化特征,这与人类生产活动、污染源排放、太阳辐射、气温等多种因素有关<sup>[12]</sup>。08:00 左右温度较低,湿度相对较大,有逆温现象发生,使大气层结构相对稳定,近地层的对流相对较弱,降低了大气颗粒物的扩散程度,导致 3 种颗粒物容易在原处聚集。此外,燕尔窝生态林紧邻河滩公路,是进出乌鲁木齐市的主要道路之一,08:00 车流量较大,处于 1 d 的高峰期,汽车尾气排放也会导致颗粒物浓度的上升<sup>[13]</sup>,因此,早上颗粒物浓度为一天中的最高值。随着时间的增加,光照度不断增强,导致空气中湿度降低,地面温度升高,中午温度上升至一天中最高,此时大气状态不稳定,大气垂直扩散和湍流交换能力增强,有利于颗粒物的扩散<sup>[14]</sup>。此外,光照增强导致林地内植物的生理活动也随之增强,提高了植物对颗粒物的吸收能力。加之早高峰之后,车流量减少,

因此中午颗粒物浓度较低且保持相对稳定,而在 14:00 和 15:00 后,随着温度的降低、光照度的减弱以及下班车流高峰期的影响,3 种颗粒物浓度再次升高。

在日变化观测时段内, $PM_{1.0}$  浓度在 3 种不同颗粒物浓度中始终处于相对低值, $PM_{10}$  浓度处于相对高值,而  $PM_{2.5}$  浓度介于两者之间。林地内监测的 3 种颗粒物浓度,从早晨的相对高值到中午的相对低值, $PM_{10}$  平均每小时递减 1.577 4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $PM_{2.5}$  每小时递减 0.940 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $PM_{1.0}$  每小时递减 0.717 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,而从中午相对低值到傍晚的相对高值, $PM_{10}$  平均每小时递增 3.00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $PM_{2.5}$  每小时递增 1.90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $PM_{1.0}$  每小时递增 0.74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。由此可知, $PM_{10}$  在 1 d 内的浓度变化幅度最大, $PM_{1.0}$  浓度变化最平缓,而  $PM_{2.5}$  介于两者之间。林地外的 3 种颗粒物浓度均高于同时段林地内的颗粒物浓

度,且变化幅度也大于林地内的颗粒物浓度。此外,林地外3种颗粒物浓度在个别时段呈波动变化,这可能与车流量有关,林地外监测点位于河滩路边,除去上下班早晚高峰期,白天的车流量不固定,会引起短时间内颗粒物浓度的上升或下降。

3.1.2 大气颗粒物季节变化规律 研究区四季气象条件差异显著,且各季节污染源排放量的贡献率不同,导致 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{1.0}$ 浓度在4个季节呈现出的特征<sup>[15-16]</sup>。如图2所示,3种颗粒物浓度的季节变化较相似,均表现为冬季>秋季>春季>夏季。这主要是由于冬季采暖燃料等大量燃烧导致大气颗粒物浓度明显增加,且大气层结构相对稳定,发生辐射逆温的频率较高,阻碍了3种颗粒物的扩散,因此冬季颗粒物浓度最高。而秋季气温较低,空气湿度较小,植物叶片开始变黄掉落,对大气颗粒物的阻滞与吸附较弱<sup>[17]</sup>,因此秋季大气颗粒物浓度较高。

春季气温变化幅度大,大气不稳定,时常会出现对流较强的天气,大风天气较多,大气颗粒物浓度背景值也较低,且春季是植物生长的初级阶段,植物生理活动开始活跃,具有吸收和吸附大气颗粒物污染的作用,因此春季的大气颗粒物浓度较低。而夏季降雨较多,有利于对大气颗粒物的清除<sup>[18]</sup>,且植物生理活动处于最旺盛的阶段,对颗粒物的吸收能力高于其他季节,因此夏季颗粒物的浓度最低。

如图3所示,林地内和林地外3种颗粒物的平

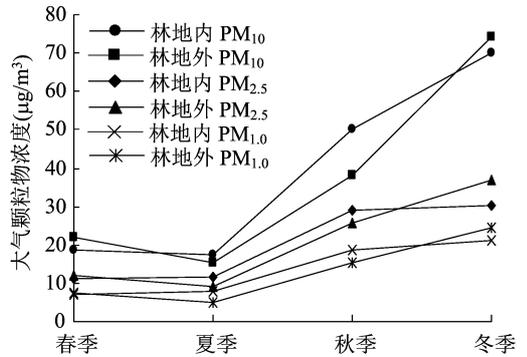


图2 大气颗粒物的季节变化规律

均浓度、75分位数、25分位数均表现为冬季最高,秋季次之,春、夏2季最低。而秋、冬2季四分位数间距明显高于夏、春2季,表明秋、冬2季3种颗粒物浓度的日均值离散程度较高。对比林地内和林地外的3种颗粒物浓度发现,夏、秋2季林地内和林地外差异明显,这是由于生态林对颗粒物具有较强的吸附作用,导致林地内颗粒物浓度大于林地外,表明生态林对颗粒物具有明显的净化作用。

### 3.2 环境因子与颗粒物浓度的关系

3.2.1 温度与颗粒物浓度的关系 大气稳定度的改变会影响湍流活动,从而对大气颗粒物的浓度造成影响<sup>[19]</sup>。图4表明,随着温度升高,不同粒径颗粒物质量浓度均呈现减小趋势,且3种颗粒物浓度与温度均呈显著负相关关系, $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{1.0}$ 的 $r^2$ 分别为0.8321、0.8137、0.7583( $P < 0.05$ ),这是

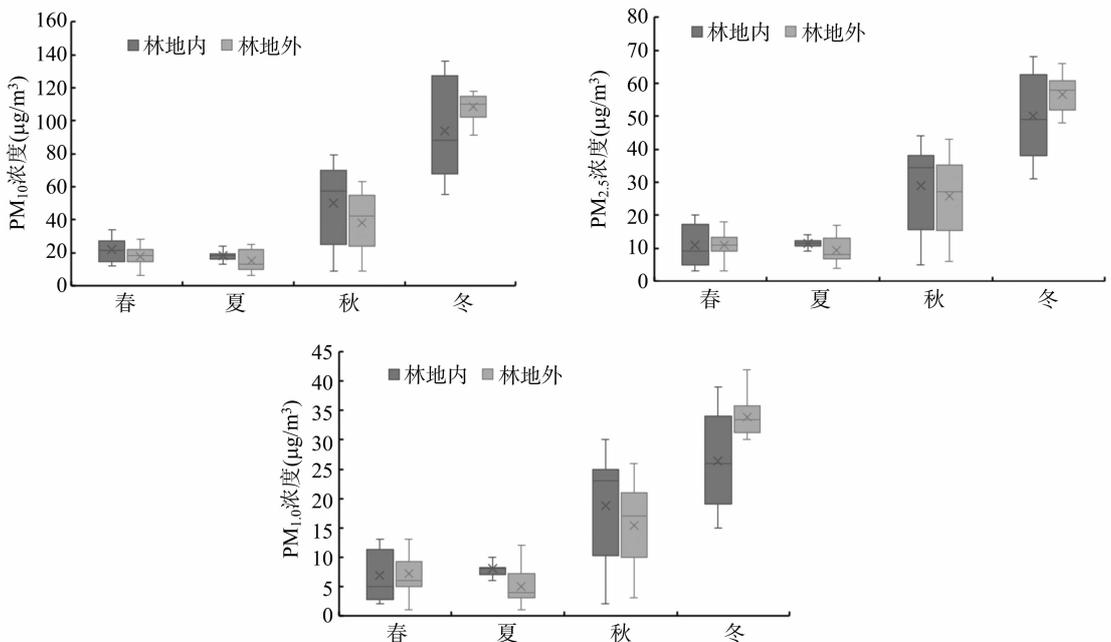


图3 大气颗粒物季节变化

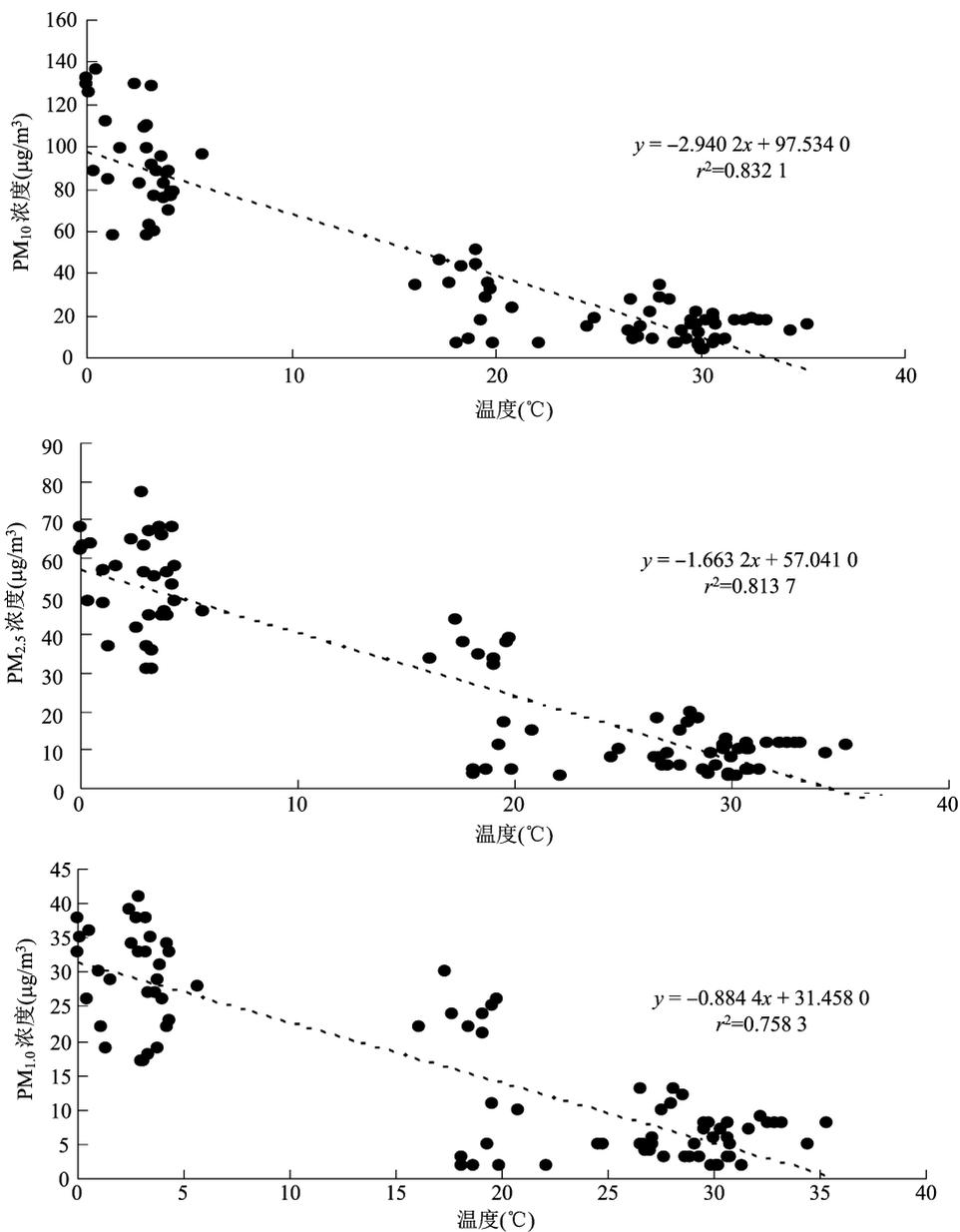


图4 大气颗粒物浓度和温度的关系

因为温度升高时,大气对流层内垂直对流运动增强,逆温发生频率较低,且逆温层厚度低、强度弱、边界层结构不稳定,在扩散、沉降的作用下大气颗粒物的浓度降低。反之,气温降低,对流活动减弱,大气结构相对稳定,不仅不利于空气颗粒物扩散,反而有利于污染物累积和二次气溶胶形成细颗粒物,造成颗粒物浓度逐渐升高<sup>[20]</sup>。

3.2.2 相对湿度与颗粒物浓度的关系 如图5所示,随着相对湿度的升高,3种颗粒物浓度均呈上升趋势,且与相对湿度呈显著正相关,其中 $PM_{10}$ 、 $PM_{1.0}$ 、 $PM_{2.5}$ 的 $r^2$ 分别为0.7789、0.7530、0.7437 ( $P < 0.05$ ),这是因为当相对湿度增大时,大气颗粒

物由于吸湿作用自身与水蒸气发生凝结,导致其体积变大、质量增加,并在植被群落中聚集,不利于颗粒物的扩散,且湿度接近饱和时的天气条件,导致林中大气颗粒物浓度增加。

3.2.3 风速与颗粒物浓度的关系 由图6可知,08:00—09:00,3种大气颗粒物浓度与风速变化呈相同的趋势,即随着风速降低3种大气颗粒物浓度均降低,但在10:00—12:00,随着风速的增加大气颗粒物浓度却呈下降趋势,在12:00以后,风速与3种大气颗粒物的变化趋势基本相同。3种颗粒物浓度与风速均呈正相关关系,但相关性比温度与相对湿度低,原因可能是风速的增加使得空气污染物质

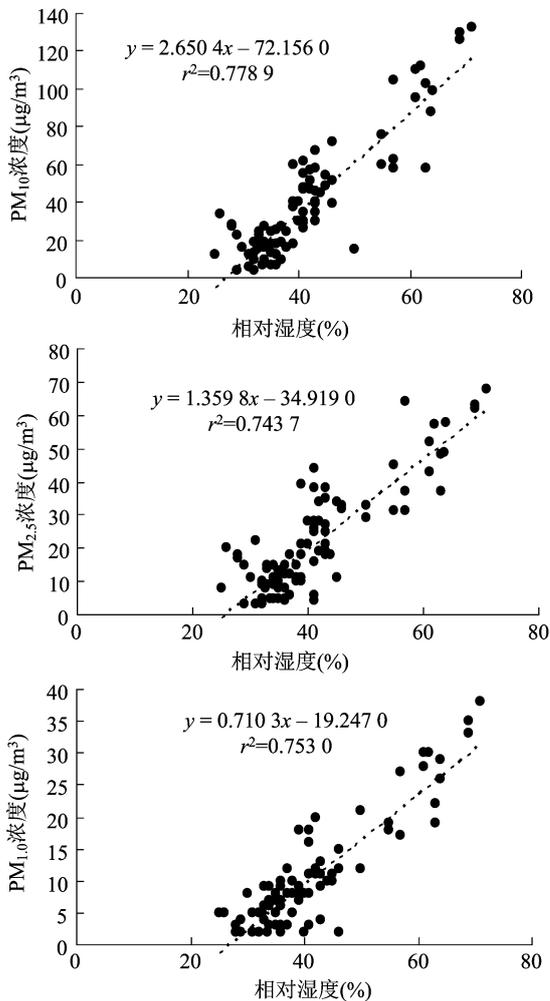


图5 大气颗粒物浓度和相对湿度的关系

扩散的更快<sup>[21]</sup>,林地外更多的大气污染物进入林地内,而燕尔窝生态林郁闭度较高,林地内较低的风速会抑制污染物质的扩散,导致林地内大气颗粒物浓度呈上升趋势,表明风速对大气污染物输送量和水平扩散具有较大影响。

3.2.4 环境因子与颗粒物浓度相关性分析 对颗粒物浓度与环境因子(温度、相对湿度、风速)进行

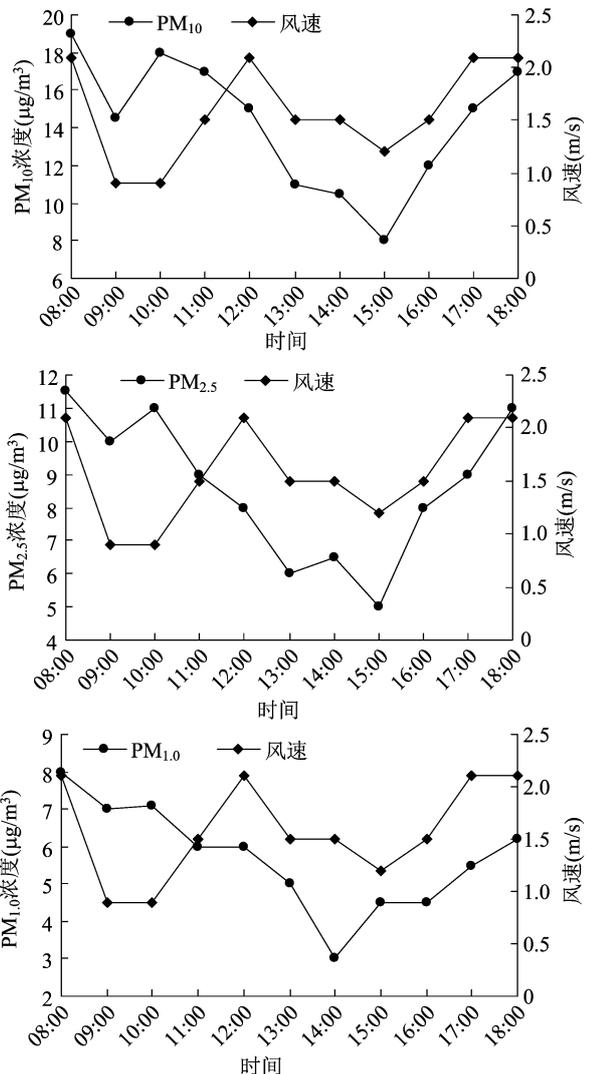


图6 大气颗粒物浓度与风速的关系

复相关分析表明,PM<sub>2.5</sub>与环境因子的复相关系数为0.890,PM<sub>10</sub>与环境因子的复相关系数为0.887,PM<sub>1.0</sub>与环境因子的复相关系数为0.832,说明3种颗粒物浓度与环境因子的线性相关程度较高(表1)。

表1 大气颗粒物浓度与气象因子的复相关关系

|                   | R     | 线性模型  |
|-------------------|-------|---|
| PM <sub>10</sub>  | 0.887 | PM <sub>10</sub> = 47.782 - 2.404 × 温度 + 0.677 × 相对湿度 + 16.532 × 风速 |
| PM <sub>2.5</sub> | 0.890 | PM <sub>2.5</sub> = 26.520 - 1.234 × 温度 + 0.343 × 相对湿度 + 8.127 × 风速 |
| PM <sub>1.0</sub> | 0.832 | PM <sub>1.0</sub> = 18.534 - 0.704 × 温度 + 0.119 × 相对湿度 + 4.729 × 风速 |

## 4 结论与讨论

本研究结果表明,干旱区城市森林大气颗粒物浓度变化与其他气候类型城市有所不同。北京、西安、武汉等地发现,大气颗粒物日变化为双峰单谷

的“U”形趋势<sup>[22-24]</sup>,而本研究发现,乌鲁木齐市大气颗粒物日变化趋势呈现浅“V”形,且季节变化为秋冬高,春夏低,南阳等城市则为明显的冬春高、夏秋低<sup>[25]</sup>。此外,刘浩栋在山东泰安研究发现,相对湿度、风速分别和颗粒物浓度呈显著正相关和显著

负相关关系,温度与大气颗粒物相关性不显著<sup>[26]</sup>,而本研究中相对湿度、风速与颗粒物浓度呈正相关关系,温度与颗粒物浓度呈负相关关系。

本研究得出以下结论:(1)3种颗粒物的日变化趋势较相似,基本呈现早晚高,中午低的浅“V”形变化趋势。(2)3种颗粒物的季节变化较为一致,均表现为冬季>秋季>春季>夏季,其中冬春两季林内浓度小于林外,而夏秋2季林内浓度大于林外。(3)环境因子和3种不同粒径颗粒物浓度均呈显著相关关系。相对湿度、风速和颗粒物浓度成正相关关系,温度与颗粒物浓度呈负相关关系。

本研究受试验条件限制,只监测了08:00—18:00时间段颗粒物浓度的变化情况,未对夜间颗粒物浓度进行监测,无法反映24h内颗粒物浓度的完整变化,在后续的研究中应开展夜间监测以提供完整的日变化数据。

#### 参考文献:

[1] Yu Y, Schleicher N, Norra S, et al. Dynamics and origin of PM<sub>2.5</sub> during a three-year sampling period in Beijing, China[J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 2011, 13(5): 334–346.

[2] Dao X, Wang Z, Lv Y B, et al. Chemical characteristics of water-soluble ions in particulate matter in three metropolitan areas in the North China Plain[J]. *PLoS One*, 2014, 9(12): e113831.

[3] Hinz K P, Trimbom A, Weingartner E, et al. Aerosol single particle composition at the Jungfraujoch[J]. *Journal of Aerosol Science*, 2005, 36(1): 123–145.

[4] 冷平生. 园林生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 137–143.

[5] Yao X H, Chan C K, Fang M, et al. The water-soluble ionic composition of PM<sub>2.5</sub> in Shanghai and Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, 36(26): 4223–4234.

[6] Fang G C, Chang C N, Wang N P, et al. The study of TSP, PM<sub>2.5</sub>–10 and PM<sub>2.5</sub> during Taiwan Chi-Chi Earthquake in the traffic site of central Taiwan, Taichung[J]. *Chemosphere*, 2000, 41(11): 1727–1731.

[7] Tao J, Ho K F, Chen L G, et al. Effect of chemical composition of PM<sub>2.5</sub> on visibility in Guangzhou, China, 2007, spring [J]. *Particology*, 2009, 7(1): 68–75.

[8] 陈波, 鲁绍伟, 李少宁. 北京城市森林不同天气状况下 PM<sub>2.5</sub>浓

度变化[J]. *生态学报*, 2016, 36(5): 1391–1399.

[9] 阮定伦, 彭超, 石光明. 重庆沙坪坝区颗粒物污染特征及气象因素影响分析[J]. *环境影响评价*, 2018, 40(1): 67–72.

[10] 邱玲, 刘芳, 张祥, 等. 城市公园不同植被结构绿地削减空气颗粒物浓度研究[J]. *环境科学研究*, 2018, 31(10): 1685–1694.

[11] 孙晓丹, 李海梅, 刘霞, 等. 不同绿地结构消减大气颗粒物的能力[J]. *环境化学*, 2017, 36(2): 289–295.

[12] 苟亚清, 张清东. 道路景观植物滞尘量研究[J]. *中国城市林业*, 2008, 6(1): 59–61.

[13] 徐欢, 赵晶晶, 李红. 道路绿地植物配置对 PM<sub>2.5</sub> 浓度分布与消减作用的影响[J]. *北方园艺*, 2016(24): 65–69.

[14] 希文, 崔强, 王丽敏. 园林绿化树种枝叶滞尘效果分类研究[J]. *防护林科技*, 2005(1): 28–29.

[15] 刘永林, 孙启民, 钟明洋, 等. 重庆市主城区 PM<sub>2.5</sub> 时空分布特征[J]. *环境科学*, 2016, 37(4): 1219–1229.

[16] 王耀庭, 李威, 张小玲, 等. 北京城区夏季静稳天气下大气边界层与大气污染的关系[J]. *环境科学研究*, 2012, 25(10): 1092–1098.

[17] 陈上杰, 牛健植, 韩旖旎, 等. 道路绿化带内大气 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度变化特征[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(2): 100–105.

[18] 李倩楠, 张宁丹, 马运通. 郑州市大气颗粒物季节变化特征及气象要素相关性研究[J]. *科技风*, 2018, 6: 133.

[19] 蒋维楣. 空气污染气象学教程[M]. 北京: 气象出版社, 2004.

[20] 张克磊. 乌鲁木齐市 PM<sub>2.5</sub> 的时空格局及其变化特征[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.

[21] 李军, 孙春宝, 刘威德, 等. 气象因素对北京市大气颗粒物浓度影响的非参数分析[J]. *环境科学研究*, 2009, 22(6): 663–669.

[22] 陈波, 李少宁, 鲁绍伟, 等. 北京大兴南海子公园 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 质量浓度变化特征[J]. *生态科学*, 2016, 35(2): 104–110.

[23] 刘立忠, 么远, 韩婧, 等. 西安市大气颗粒物数浓度分布及典型天气条件特征变化[J]. *中国环境科学*, 2015, 35(12): 3588–3594.

[24] 刘雯, 张晓春, 李俊, 等. 武汉市观象台 2013—2016 年 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度变化及其与气象因子的相关分析[J]. *气象与环境科学*, 2018, 41(2): 23–29.

[25] 尹延震, 王苗, 王静远, 等. 南阳市 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 污染特征及其与气象因子的关系[J]. *干旱环境监测*, 2018(1): 12–18.

[26] 刘浩栋. 城市道路林内大气颗粒物的时空变化特征——以泰安市为例[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.