

# 城市森林植被对空气 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度的影响

邵建明<sup>1</sup>, 刘 斌<sup>2</sup>, 鲁绍伟<sup>3</sup>, 陈 波<sup>3</sup>, 赵云阁<sup>2</sup>, 李少宁<sup>3</sup>

(1. 山西阳煤集团 升华公司, 山西 阳泉 045000; 2. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000;

3. 北京市农林科学院 林业果树研究所, 林果业生态环境功能提升协同创新中心, 北京 100093)

**摘 要:**在北京大兴南海子公园内选取森林植被区,并分别对远离林带 1、5、15、30、50 m 处的 PM<sub>2.5</sub> 浓度进行全天连续监测,分析远离林带不同距离对 PM<sub>2.5</sub> 浓度的影响及其日变化特征。结果表明:林内及距林带不同距离处 PM<sub>2.5</sub> 日变化趋势相同,从早到晚均呈先降低后增加的趋势,PM<sub>2.5</sub> 浓度最小值出现在 15:30 左右,最大值出现在 05:00—07:00;远离林带的距离对 PM<sub>2.5</sub> 浓度有显著影响,随远离林带距离的增加,其浓度先降低而后增加,在距林带 30 m 处 PM<sub>2.5</sub> 浓度达到最低值,说明森林对颗粒物的削减作用最强。

**关键词:**城市森林;植被;PM<sub>2.5</sub>;空气质量

**中图分类号:**X 513 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)13-0182-05

随着城市化进程的不断加快,空气质量日益下降,而大气颗粒物是空气污染的首要污染物<sup>[1]</sup>。空气颗粒物(particulate matter, PM)是指悬浮在空气中的微小固、液混合物,包括降尘和空气动力学当量小于 100 μm 的总悬浮颗粒物(total suspended particle, TSP)<sup>[2]</sup>,其中 PM<sub>2.5</sub> 即是 TSP 中空气动力学等效直径小于 2.5 μm 的可吸入颗粒物,不仅影响大气能见度,加剧温室效应<sup>[3]</sup>,而且含有重金属、致癌物质和细菌等,严重危害人体健康<sup>[4-5]</sup>,且随着粒径减小其危害程度逐渐增加,尤其是可吸入颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 对人体危害更为突出<sup>[6-7]</sup>。防治 PM<sub>2.5</sub> 等空气细颗粒物污染已经成为一项迫在眉睫的任务。

森林植被可通过降低风速、阻挡和吸滞颗粒物等方式将空气中的颗粒物有效的滞留在植被枝干或叶片表面<sup>[8]</sup>,从而达到降低大气中颗粒物浓度、净化空气的目的。因此,利用森林复杂冠层结构对颗粒物的吸收阻滞作用成为治理 PM<sub>2.5</sub> 的一项有效措施。目前,许多国家都采用植树造林的方法降低大气污染程度。北京的一

项研究发现,城市中的树木对 PM<sub>10</sub> 的年清除量可以达到 772 t<sup>[9]</sup>;NOWAK 等<sup>[10]</sup>研究不同城市森林植被对空气污染物吸附作用发现,美国各城市乔灌木树种每年移除大气污染物约为 71.1 万 t,价值约 380 亿美元;以上研究均表明,森林植被对于空气污染物具有显著吸附作用,但大部分研究只是针对森林吸收空气污染物量进行定量研究,较少涉及森林吸滞颗粒物浓度特征及不同林缘处 PM<sub>2.5</sub> 浓度变化特征。现选取北京地区森林公园为研究对象,采用 Dustmate 手持便携式空气颗粒物监测仪对林缘及道路旁 PM<sub>2.5</sub> 浓度进行全天连续观测,探寻不同林缘距离 PM<sub>2.5</sub> 浓度变化特征,阐释森林植被吸滞空气颗粒物功能,以期为森林生态建设提供合理的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

大兴南海子湿地森林公园是北京四大郊野公园之一,也是北京市最大的湿地公园,全部建成后总面积将超过 11 km<sup>2</sup>。南海子公园地处北京城南,位于北京大兴东北部,南五环南侧、亦庄新城与大兴新城之间、南苑机场东南,为工业区,城乡结合部,人流、物流、车流交汇。其周围环境(树种繁多、水量充沛、交通便利、游客稀少)有利于开展森林环境空气质量监测,园区主要的乔木树种有:柳树(*Salix babylonica*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、雪松(*Cedrus*)、银杏(*Ginkgo biloba* Linn.)、国槐(*Sophora japonica* Linn.)、栎树(*Koelreuteria paniculata*)和白皮松(*Pinus bungeana*)等,主要灌木:大叶黄杨(*Buxus megistophylla*)、海棠(*Malus spectabilis*),主要草本有:景天(*Sedum spectabilis*)、鸢尾(*Iris tectorum*)等。

**第一作者简介:**邵建明(1972-),男,山西阳泉人,本科,林业工程师,现主要从事林业生态等研究工作。E-mail:1183850473@qq.com.

**责任作者:**李少宁(1975-),男,河北滦县人,博士,副研究员,现主要从事生态功能监测与评价等研究工作。E-mail:lishaoning@126.com.

**基金项目:**国家林业局林业公益性行业科研专项资助项目(20130430101);科技创新服务能力建设-协同创新中心-林果业生态环境功能提升协同创新中心(2011 协同创新中心)(市级)资助项目(PXM2016\_014207\_000038)。

**收稿日期:**2016-02-19

## 1.2 试验方法

2014年6—10月,每月选取1天,采用便携式手持颗粒物浓度监测仪 Dustmate 对空气  $PM_{2.5}$  质量浓度进行全天连续测定。测定间隔为2 h。日变化数据选取原则为避免特殊天气条件的影响(如大风、降雨以及严重雾霾天等)。森林植被区选定为南海子森林公园内国槐林,按照远离林带1、5、15、30、50 m 逐渐递增的距离测定其  $PM_{2.5}$  浓度变化;道路区选定为公园附近远离植被区

影响的公路,按照1、15、30、60、120 m 逐渐递增的距离测定其  $PM_{2.5}$  浓度变化。

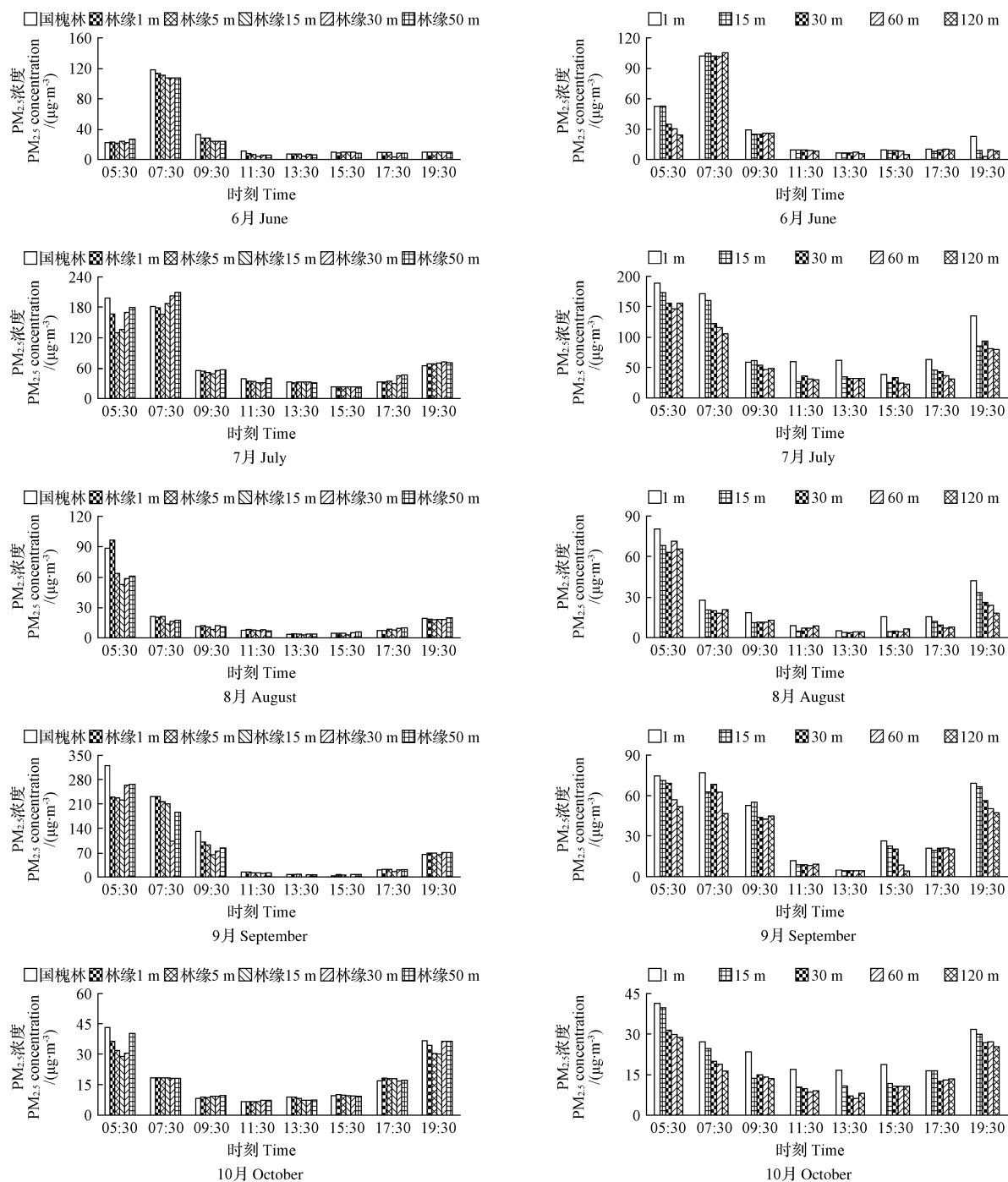
## 1.3 数据分析

采用 Excel 2007 软件进行数据处理和制图。

## 2 结果与分析

2.1  $PM_{2.5}$  日变化特征

由图1可知,距林带和路旁不同距离处  $PM_{2.5}$  浓度



注:左图为距离林带不同距离处  $PM_{2.5}$  浓度变化特征,右图为远离道路不同距离处  $PM_{2.5}$  浓度变化特征。

Note: Left and right pictures show  $PM_{2.5}$  concentration variation in different distance from forest or road.

图1 不同地点  $PM_{2.5}$  浓度日变化特征

Fig. 1 Diurnal variation of  $PM_{2.5}$  concentration

日变化特征不同,不同月份林缘处  $PM_{2.5}$  日变化规律基本一致,均呈现先减小后增大的变化趋势,7—10 月  $PM_{2.5}$  浓度日最大值出现在 05:30,各月均值分别为 134.42(林内)、110.12(距林带 1 m)、94.46(距林带 5 m)、90.75(距林带 15 m)、108.90(距林带 30 m)、114.44  $\mu g \cdot m^{-3}$ (距林带 50 m),6 月  $PM_{2.5}$  日最大值出现在 07:30,其值分别为 117.60(林内)、113.36(林缘 1 m)、110.73(距林带 5 m)、105.39(距林带 15 m)、107.51(距林带 30 m)、108.02  $\mu g \cdot m^{-3}$ (距林带 50 m);日变化最小值出现在 13:30 或 15:30,各月均值分别为 9.85(林内)、9.89(距林带 1 m)、9.86(距林带 5 m)、10.00(距林带 15 m)、9.96(距林带 30 m)、9.90  $\mu g \cdot m^{-3}$ (距林带 50 m),在此之后  $PM_{2.5}$  浓度逐渐升高,在夜间达到极值。

路旁不同距离  $PM_{2.5}$  日变化规律与林缘处大致相同,同样呈现出先减小后增大的变化趋势,各月份  $PM_{2.5}$  日变化最大值出现在 05:30—07:30,日变化最大值分别为 87.03(1 m)、80.53(15 m)、70.39(30 m)、66.61(60 m)、64.99  $\mu g \cdot m^{-3}$ (120 m);各月  $PM_{2.5}$  浓度最小值出现在 13:30 或者 15:30,其值分别为 18.55(1 m)、11.64(15 m)、10.03(30 m)、10.48(60 m)、10.69  $\mu g \cdot m^{-3}$

(120 m),而后逐渐增加。

尽管林缘和路旁  $PM_{2.5}$  质量浓度日变化最大值在不同月份中出现时间略有不同,但在所有月份中,二者日变化最小值均出现在 15:30 左右,即此刻为全天日变化当中一个重要的转折点,在这一时间点前后, $PM_{2.5}$  质量浓度由降低趋势转变为急剧上升的趋势,且此刻前后一个时段内  $PM_{2.5}$  浓度均维持在一个较低的水平。这可能由于此时段内温度较高,空气流动性较强,造成  $PM_{2.5}$  等空气颗粒物不易滞留,导致其浓度较低。

## 2.2 距林带不同距离处 $PM_{2.5}$ 浓度变化特征

由图 2 可知,不同月份中, $PM_{2.5}$  质量浓度随着远离林带距离的增加表现出一致的变化趋势,均呈现先降低而后逐渐上升,且其上升速率较之前降低速率明显。其中 7 月  $PM_{2.5}$  浓度最低值出现在距离林带 5 m 处,其  $PM_{2.5}$  削减率达到了 14.56%;其余月份  $PM_{2.5}$  浓度最低值出现在距离林带 10~30 m 范围内,最大削减率分别为 10.08%、20.89%、30.49%、10.08%;利用多项式对不同月份  $PM_{2.5}$  浓度与林缘距离进行拟合,二者之间呈较好的相关性,其  $R^2$  值分别达到 0.783 4、0.505 5、0.767 8、0.775 9、0.704 7。在森林周围  $PM_{2.5}$  浓度出现明显降低,说明植被对  $PM_{2.5}$  有很好的吸滞作用。

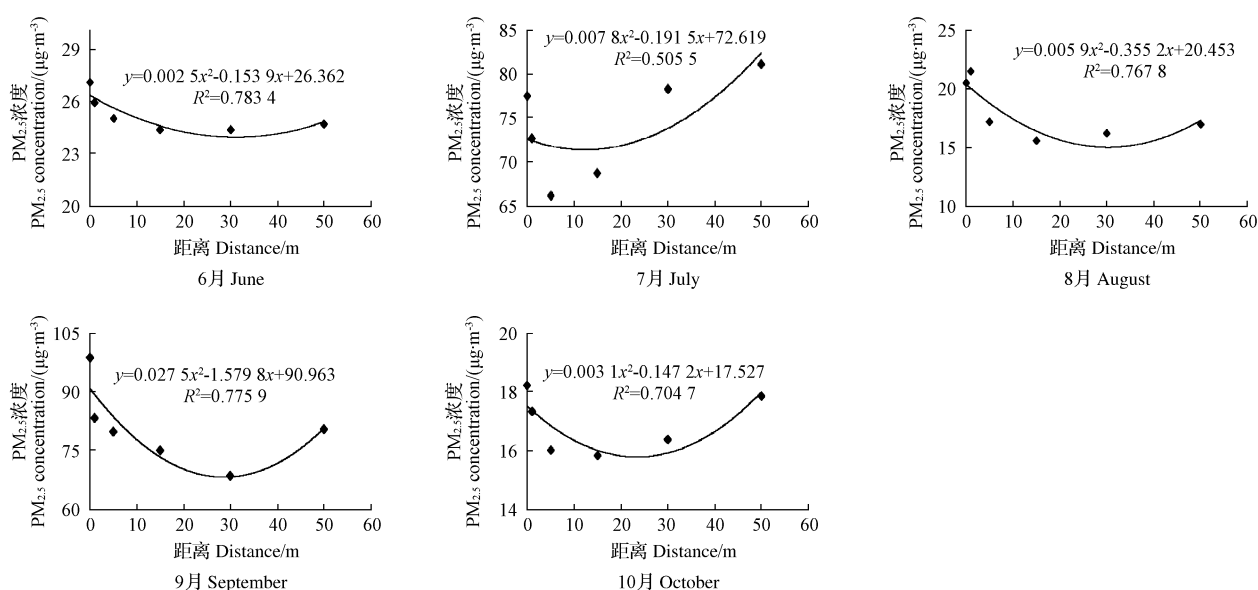


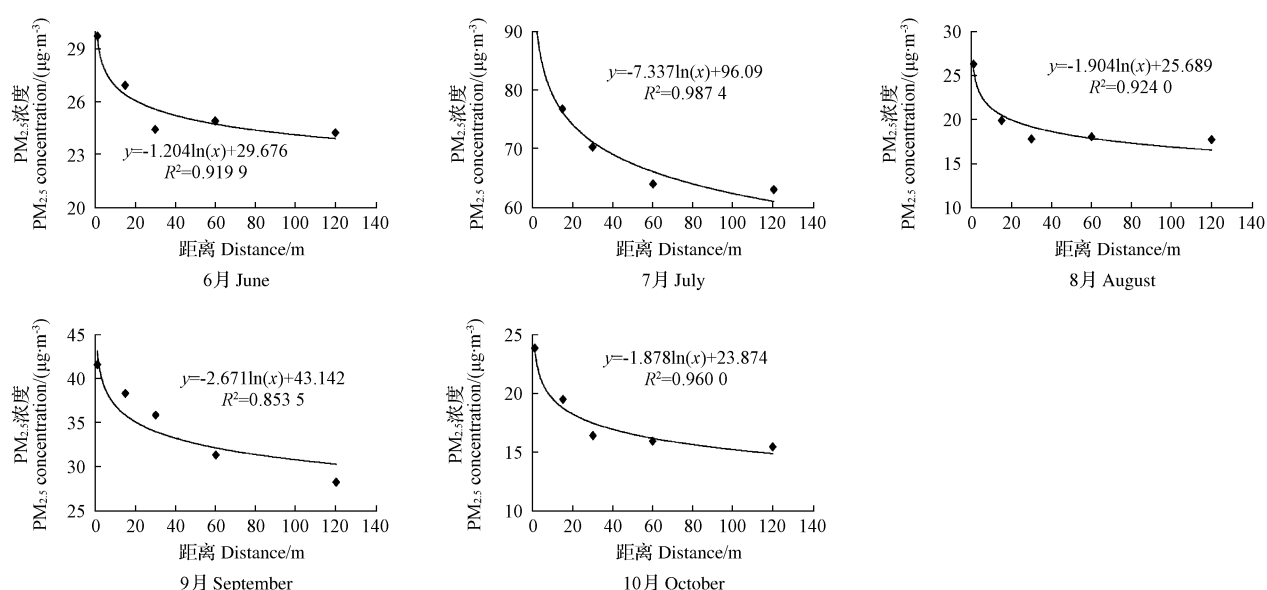
图 2 距林带不同距离处  $PM_{2.5}$  浓度变化

Fig. 2  $PM_{2.5}$  concentration variation in different distance from forest

## 2.3 路边不同距离处 $PM_{2.5}$ 浓度变化特征

由图 3 可知,6—10 月中, $PM_{2.5}$  浓度均随着远离道路距离的增加呈明显的下降趋势,最后趋于稳定。在远离道路 0~30 m 范围内, $PM_{2.5}$  浓度急剧下降,30 m 以后  $PM_{2.5}$  浓度下降速率明显降低,在距离道路 120 m 处, $PM_{2.5}$  浓度基本趋于平衡。道路上的人为活动、交通运输等,会产生细颗粒物,形成空气颗粒物污染源,在远离

道路的过程中,随着污染源的远离,其  $PM_{2.5}$  浓度逐渐降低。 $PM_{2.5}$  质量浓度与距离之间呈显著对数关系,即随着远离道路观测距离的不断增加, $PM_{2.5}$  质量浓度呈逐渐下降的趋势,后趋于稳定状态;其拟合系数均达到 0.85 以上。路边及林带附近  $PM_{2.5}$  浓度变化特征有较为显著的区别,说明林带的存在对  $PM_{2.5}$  浓度有一定的影响。

图3 距路边不同距离处 PM<sub>2.5</sub> 浓度变化Fig. 3 PM<sub>2.5</sub> concentration variation in different distance from the road

### 3 讨论

#### 3.1 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度变化特征

许多研究均表明,城市森林植被对空气颗粒物具有吸滞作用,柴一新等<sup>[11]</sup>研究发现,城市绿地有很强的滞尘能力,1株胸径20cm的红皮云杉年滞尘量可达8.41kg;TALLIS等<sup>[12]</sup>研究伦敦城市森林植被吸滞颗粒物发现,其年削减PM<sub>10</sub>达到852~2121t,约占吸滞空气颗粒物总量的0.7%~1.4%。该研究中林缘处PM<sub>2.5</sub>浓度显著降低,很好的印证了森林植被对于空气细颗粒物的吸附作用。

王月容等<sup>[13]</sup>研究北京市道路绿地对PM<sub>2.5</sub>浓度的削减作用发现,PM<sub>2.5</sub>质量浓度日变化曲线呈“双峰单谷”型,早晚高、白天低,14:00—16:00出现最小值。该研究中,不同月份不同地点PM<sub>2.5</sub>浓度日最低值均出现在15:00左右,这是因为下午时段内,经过太阳辐射后,空气温度较高,相对湿度较低,空气流通性强,造成空气细颗粒物不易滞留;05:00—07:00出现日变化最高值,是因为清晨空气温度较低,空气湿度大,且黎明前后人类活动逐渐增加,空气污染物排放量增加,致使这一时段内PM<sub>2.5</sub>浓度较高。其中,6月07:30时,PM<sub>2.5</sub>浓度值骤然升高,是因为在测定当天06:00左右,在测定点出现持续时间极短的阵风,阵风造成地面扬尘增加,导致空气中细颗粒物在极短时间内骤然增加,在阵风过后的一段时间内,逐渐恢复正常水平。可见,风对空气PM<sub>2.5</sub>质量浓度有较大影响。

#### 3.2 植被对空气 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度的影响

森林植被作为城市系统的组成部分,在吸滞空气污染物,净化大气环境方面发挥着至关重要的作用。在上海一项关于林地吸滞空气污染物的研究发现,在距离林

地50~100m处颗粒物浓度、SO<sub>2</sub>和NO<sub>2</sub>的浓度分别降低了9.1%、5.3%和2.6%<sup>[14]</sup>;该研究中城市森林植被对于空气PM<sub>2.5</sub>浓度具有明显降低作用,大部分月份其最低值出现在30m处,削减率均达到10%以上,在林缘50m处PM<sub>2.5</sub>质量浓度已呈现出上升趋势,与以上结论略有不同。这可能是选择林地不同,且不同地点气候条件不同,植被类型、气象因素均对PM<sub>2.5</sub>质量浓度变化趋势有所影响。

李素莉等<sup>[15]</sup>对北京交通干道防护林带内PM<sub>2.5</sub>浓度变化特征研究发现,无林带处PM<sub>2.5</sub>浓度随着距离增加有一定降低,说明空气有一定自净能力;但随着距离增加,其它来源对于PM<sub>2.5</sub>浓度的影响显著增加,其降低趋势逐渐减小。通过对路旁不同距离处PM<sub>2.5</sub>浓度研究发现,随着远离道路距离的逐渐增加,PM<sub>2.5</sub>有明显下降趋势,在到达一定距离后呈趋于稳定值,这一变化与林缘处PM<sub>2.5</sub>浓度变化特征明显不同。林带内的PM<sub>2.5</sub>浓度受到林带宽度和气象因子的影响,不是总低于道侧的PM<sub>2.5</sub>浓度。在特定的条件下,林带内的PM<sub>2.5</sub>浓度会高于道侧浓度,这种浓度升高的现象和林带内相对湿度较高,风速低有关<sup>[15]</sup>。通过对比得出,城市森林植被对空气PM<sub>2.5</sub>浓度有显著降低作用,且其降低作用随着林缘距离的增加逐渐降低,在远离植被较远距离后,空气颗粒物浓度逐渐恢复到正常水平。

该研究所得结论充分说明,城市森林植被对于空气颗粒物具有很好吸滞作用,森林通过增大地表粗糙度、降低风速、直接吸滞颗粒物等方式,将空气细颗粒物存储在森林内部,使其不易再悬浮在空气中,从而降低空气颗粒物浓度。近林缘处空气颗粒物浓度明显低于林内和远离林缘处。



## 4 结论

城市森林植被对空气  $PM_{2.5}$  质量浓度有明显降低作用,林缘和路边  $PM_{2.5}$  日变化浓度呈基本一致的变化趋势,从早到晚呈先降低后增加的趋势; $PM_{2.5}$  浓度随着远离林带距离的增加呈先降低后增加的变化规律,植被对  $PM_{2.5}$  削减作用在距林带 30 m 处达到最大,而后随着距离的增加,削减作用逐渐降低;随着距路边距离的增加, $PM_{2.5}$  浓度急剧下降,达到一定距离后, $PM_{2.5}$  下降趋势逐渐变缓,并趋于稳定。城市森林能有效吸滞空气细颗粒物,对于降低空气污染物浓度、净化空气环境具有重要意义,因此,增加植被覆盖有利于构建生态和谐社会。

## 参考文献

- [1] 李海梅,刘霞. 青岛市城阳区主要园林树种叶片表皮形态与滞尘量的关系[J]. 生态学杂志,2008,27(10):1659-1662.
- [2] 唐效炎,张远航,邵敏. 大气环境化学[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2006:5-10.
- [3] CHRISTOFOROU C S, SAMON L G, HANNIGAN M P, et al. Trends in fine particle concentration and chemical composition in southern California [J]. Journal of Air and Waste Management Association, 2000, 50: 43-45.
- [4] DAVID V B. Assessing the causality inference in the case of particulate pollution[J]. Environmental Health Perspectives, 2000, 108(2): 91-92.
- [5] 关欣,李巧云,文倩,等. 和田降尘与浮尘、扬尘、沙尘暴的关系研究[J]. 环境科学研究, 2000, 13(6): 1-3.
- [6] HSU S C, LIU S C, JENG W L, et al. Variations of Cd/Pb and Zn/Pb ratios in Taipei aerosols reflecting long-range transport or local pollution emissions[J]. Science of the Total Environment, 2005, 347(1-3): 111-121.
- [7] DENG W J, LOUIE P K K, LIU W K, et al. Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metals in TSP and  $PM_{2.5}$  at an electronic waste recycling site in southeast China[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(36): 6945-6955.
- [8] 么旭阳,胡耀升,刘艳红,等. 北京市 8 种常见绿化树种滞尘效应[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(3): 92-95.
- [9] YANG J, MCBRIDE J, ZHOU J, et al. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction[J]. Urban for Urban Green, 2005, 3(2): 65-68.
- [10] NOWAK D J, CRANE D E, STEVENS J C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the united states[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2006, 4(s3-4): 115-123.
- [11] 柴一新,祝宁,韩焕金. 城市绿化树种的滞尘效应——以哈尔滨市为例[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1121-1126.
- [12] TALLIS M, TAYLOR G, SINNETT D, et al. Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 103(2): 129-138.
- [13] 王月容,李延明,李新宇,等. 北京市道路绿地对  $PM_{2.5}$  浓度分布与削减作用的影响[J]. 湖北林业科技, 2013, 42(6): 4-9.
- [14] YIN S, SHEN Z, ZHOU P, et al. Quantifying air pollution attenuation within urban parks: an experimental approach in Shanghai, China[J]. Environmental Pollution, 2011, 159(8-9): 2155-2163.
- [15] 李素莉,杨军,马履一,等. 北京市交通干道防护林带内  $PM_{2.5}$  浓度变化特征[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(3): 245-252.

Effect of Urban Forestry Vegetation on Atmospheric  $PM_{2.5}$  Concentration

SHAO Jianming<sup>1</sup>, LIU Bin<sup>2</sup>, LU Shaowei<sup>3</sup>, CHEN Bo<sup>3</sup>, ZHAO Yunge<sup>2</sup>, LI Shaoning<sup>3</sup>

(1. Shenghua Company of Shanxi Yangquan Coal Industry Group, Yangquan, Shanxi 045000; 2. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000; 3. Forestry and Pomology Institute, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences/ Beijing Collaborative Center for Eco-environmental Improvement With Forestry and Fruit Trees, Beijing 100093)

**Abstract:** Selecting vegetation in Nanhaizi Park of Daxing District, continuously surveying  $PM_{2.5}$  concentration which distanced vegetation 1 m, 5 m, 15 m, 30 m, 50 m, analyzing the influence of the distance away from vegetation acted  $PM_{2.5}$  concentration and its diurnal variation. The results showed that the variation of  $PM_{2.5}$  concentration presented a trend of increase after the first reduce from morning till the night, and the minimum value of  $PM_{2.5}$  concentration occurred at 15:30, the maximum value occurred at 05:00—07:00; with the distance away from vegetation increasing,  $PM_{2.5}$  concentration firstly reduced firstly and then slowly increased, and the minimum value occurred at the place which distanced vegetation 30 m, simultaneously the forests had the strongest adsorption ability for particulate matters.

**Keywords:** urban forestry; vegetation;  $PM_{2.5}$ ; air environmental quality