

DOI: 10.5846/stxb201409251902

杨貌, 张志强, 陈立欣, 刘辰明, 邹瑞. 春季城区道路不同绿地配置模式对大气颗粒物的削减作用. 生态学报, 2016, 36(7): - .
Yang M, Zhang Z Q, Chen L X, Liu C M, Zou R. Effects of different roadside urban vegetative models on airborne particulate matter in Beijing, China. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(7): - .

春季城区道路不同绿地配置模式对大气颗粒物的削减作用

杨 貌, 张志强*, 陈立欣, 刘辰明, 邹 瑞

教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083

摘要: 研究城市道路不同绿地类型对大气颗粒物的吸附削减作用, 是提高城市绿地大气污染治理功能绿地配置模式优化的重要基础。以位于北京市海淀区的三条典型主干道路为对象, 选取乔木、灌木、草本、乔-灌、乔-草、乔-灌-草 6 种典型绿地配置模式, 在大气颗粒物污染严重以及城市植被发芽、开花、展叶完成的春季 (3 月中旬至 4 月上旬), 采用 Dustmate 便携式颗粒物采样器和 NK4500 手持自动气象仪分 1.5 米和 3 米两个高度同步测定距污染源不同位置的大气颗粒物浓度与小气候因子, 分析不同绿地配置模式对颗粒物削减能力的差异及其主要影响因素。研究表明: 复合配置模式比单一配置模式下空气颗粒物浓度稳定程度高, 其主要受风速与空气相对湿度的影响; 大气颗粒物粒径越大绿地对其削减作用越强; 地表覆盖程度是影响不同绿地配置模式对大气颗粒物垂直削减的关键因素, 地表覆盖越好垂直削减效果越好, 且垂直削减率与温度成正相关关系; 草本、灌木对大气颗粒物的垂直削减作用比其他 4 种配置模式更好; 由于受植被郁闭度、疏透度以及配置种类的综合影响, 乔-草、灌木绿地配置对大气颗粒物的水平削减作用比其他 4 种模式更好。

关键词: 城区道路; 绿地配置模式; 大气颗粒物; 削减作用

Effects of different roadside urban vegetative models on airborne particulate matter in Beijing, China

YANG Mao¹, ZHANG Zhiqiang^{1,*}, CHEN Lixin¹, LIU Chenming³, ZOU Rui¹

Key Lab. Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Development of effective roadside vegetative models is important for achieving urban air-pollution-control objectives in metropolitan cities worldwide. However, there are a number of interactive factors contributing to the effectiveness of the removal of particulate matter (PM) from urban vegetation such as species composition, vegetation alignment, and environmental factors including air temperature, humidity, wind, and sources of PMs. We selected six types of roadside vegetative models including arbor, shrub, herb, arbor-shrub, arbor-herb, and arbor-shrub-herb according to three typical urban streets of Haidian District, Beijing, China to study their effectiveness on PMs. PM samplers (Dustmate) and a portable weather station (NK4500) were placed in the central part of a roadside green belt at 10 m and 20 m away from the edge of the outer lane. PM concentration and environmental factors were determined at 1.5 m and 3 m heights, respectively. The study period was from spring between mid-March and early April in 2014 when PM concentration was usually high and urban vegetation had phenologically recovered. We found that the concentration of airborne PM under a multi life form model was more stable than under a single life form vegetative model because of the effect of wind speed and

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项 (20130430103)

收稿日期: 2014-09-25; 网络出版日期: 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhqzhang@bjfu.edu.cn

relative humidity. In addition, there was a general trend showing that PMs with larger size were removed more efficiently in green belts. Vertical removal rate of airborne particulates was mainly affected by the degree of surface coverage of green belts. However, the vertical removal rate did not increase with higher surface coverage, even though it was positively correlated with air temperature. Herbs and shrubs showed stronger ability in aiding particulate matter diffusion than the other four types. Overall, the vegetative models of arbor-herb and shrubs are preferred for removing airborne PM over the other four models because of the vegetation canopy density, porosity, and species composition.

Key Words: urban street; roadside vegetative model; airborne particulate matter; removal effect

大气污染是当前发展中国家城市面临的主要环境问题之一,其中颗粒物是大气污染的主要组成部分^[1]。目前,城市大气颗粒物污染研究主要集中在颗粒物来源、成份及其变化规律,颗粒物与人类健康以及颗粒物污染治理^[2-5]等方面。大量研究表明,植物对大气颗粒物有显著的削减作用^[6],但不同绿地配置模式对颗粒物扩散与沉降的影响有一定的差异^[7]。研究春季不同植物种与绿地配置模式对大气颗粒物削减作用的特点与差异,为提高城市道路绿化治理大气颗粒物污染效益的树种选择和绿地配置模式优化提供重要的科学依据。有研究表明,不同街区绿地配置模式对大气颗粒物削减有明显的差异^[8-9],大气颗粒物削减在垂直梯度^[10-11]、水平梯度^[8]的变化上存在一定的规律。但由于受植被条件、颗粒物来源与浓度以及气象条件等多种因素的影响^[12],城区不同绿地配置模式对大气颗粒物的吸附削减作用呈现非常复杂变化的特点,只有从多角度对大气颗粒物浓度和环境因子进行连续动态测定才能为提高大气颗粒物污染控制功能的绿地系统配置模式提供可靠的依据。冬季燃煤取暖和春季沙尘天气造成中国北方城市春季大气颗粒物污染严重^[13],冬季燃煤取暖和春季沙尘天气造成中国北方城市春季大气颗粒物污染严重^[13],而春季(3月中旬至4月上旬)正值北京城市植被发芽、开花、展叶期,研究这一季节城区道路绿地削减大气颗粒物的特点具有一定的实际意义。因此,本文选取北京市海淀区街道6种典型绿地配置模式,通过连续动态测定大气颗粒物浓度与小气候因子,通过定量比较与定性分析相结合,分析不同绿地配置模式对颗粒物影响的差异及其主要影响因素,为城市街道绿地设计提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北京市海淀区位于北纬 39°53′—40°09′,东经 116°03′—116°23′,地处温带湿润季风气候区,冬季寒冷干燥,盛行西北风,夏季高温多雨,盛行东南风。年均气温 12.5℃,年日照数 2662h,年平均降水量 628.9mm。春季干燥多风,主风向为西北风;春季雨量为 45mm—48mm,约占全年降雨量的 10%左右。全区道路面积 11.53 万平方米,已绿化道路长度 523.05km,绿地总面积约为 1.04km²^[14]。

1.2 实验设计与样地选择

1.2.1 实验假设

交通流量与大气颗粒物浓度有显著的相关性^[15],且街道内风速和风向会影响大气颗粒物的分布^[16],研究区绿化带与机动车道平行,因而假设机动车对整条绿带大气颗粒物浓度的影响一致,只考虑沿绿化带方向风速对大气颗粒物削减的作用。

1.2.2 样地选择

街道周围建筑高度对大气颗粒物垂直分布存在影响^[17],本研究选取位于北京市海淀区的三条周围无连续高大建筑群的街道路口作为研究地点。基于对绿地生态效应辐射距离^[18]要求的考虑,选取 6 种不同绿地配置模式(以 L1-L6 表示)进行研究,所选绿化带沿道路延伸方向距离均>50m,绿地宽 1m,各绿地植物种类、植被配置结构如表 1 所示。

表 1 采样区域的植被情况

Table 1 The condition of vegetation in sampling sites

采样区域 Sample sites	街道 Street	植被配置模式 Vegetation-configuration mode	植被组成 Vegetation composition			植被特征 Vegetation characteristics
			乔木 Arbor	灌木 Shrub	草本 Herb	
L1	A	乔-灌	大叶白蜡 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	沙地柏 <i>Sabina vulgaris</i>		乔木:树高 13m、胸径 23、郁闭度 0.7;灌木均高 0.3m
L2	B	乔-灌-草	国槐 <i>Sophora japonica</i> Linn	大叶黄杨 <i>Buxus megistophylla</i> Lev	无芒雀麦 <i>Bromus inermis</i> Leys	树高 11m、胸径 13、郁闭度 0.9
L3	B	乔-草	国槐 <i>Sophora japonica</i> Linn		阔叶麦冬 <i>Liriope platyphylla</i> Wang et Tang	树高 12m、胸径 14、郁闭度 0.5
L4	B	草本			阔叶麦冬 <i>Liriope platyphylla</i> Wang et Tang	
L5	C	灌木		贴梗海棠 <i>Chaenomeles speciosa</i> (Sweet) Nakai		
L6	C	乔木	国槐 <i>Sophora japonica</i> Linn			树高 10m、胸径 13、郁闭度 0.5

1.2.3 实验设计

实验选择空气湿度较小(相对湿度<60%)、无风或者微风(风力小于3级)的晴朗天气下进行,采样时间选在白天车流与居民活动频繁的时间段内(7:00—19:00),每次连续监测12小时,每个样点持续监测3天。沿道路绿化带方向,以垂直绿化带的机动车道路基为起点,在绿化带中央离人行道0.5m和距离路基10m(A)、20m(B)处安装实验仪器(图1)。在每处离地面1.5米(人平均呼吸高度)和3米高度采用颗粒物浓度检测仪(Dustmate,英国Tunkey公司)测定不同颗粒物浓度,包括:总悬浮颗粒物(Total suspended particulate/TSP)、直径小于等于10微米的颗粒物(Particulate matter 10/PM₁₀)、直径小于等于2.5微米的颗粒物(Particulate matter 2.5/PM_{2.5})、直径小于等于1微米的颗粒物(Particulate matter 1/PM₁),并在1.5m高度处安装自动气象仪(NK4500,美国Kestrel公司)同步测定气象因子,大气颗粒物浓度与气象因子均设定每1min计量一次。

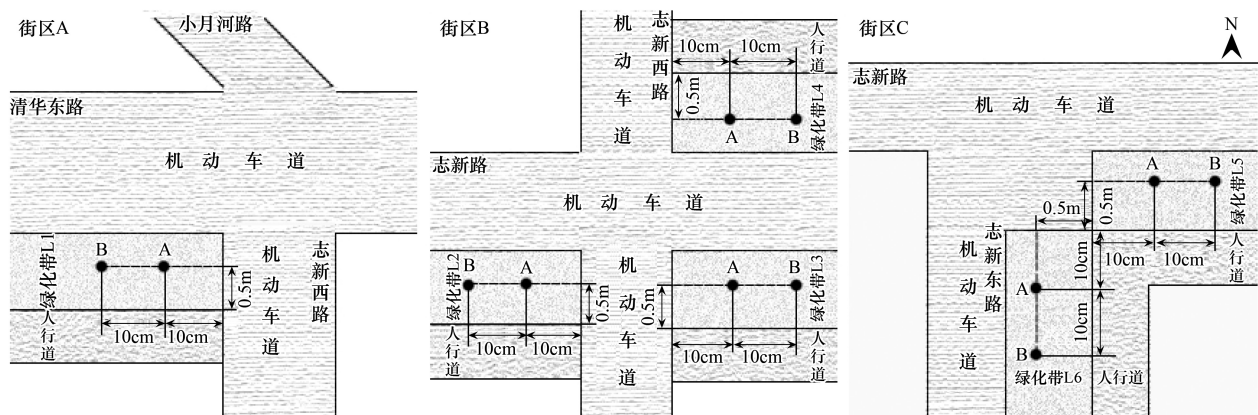


图 1 样点位置选择与仪器安放示意图

Fig. 1 Schematic plot of choosing sample point location and putting the instrument

1.3 数据处理

绿化带削减大气颗粒物浓度效率采用公式^[19]计算,其中,垂直削减率计算式为:

$$P_1 = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, P_1 为大气颗粒物垂直削减率; C_1 为 1.5m 高度大气颗粒物浓度; C_2 为 3m 高度测点大气颗粒物浓度。

水平削减率计算式:

$$P_2 = \frac{C_3 - C_4}{C_3} \times 100\% \quad (2)$$

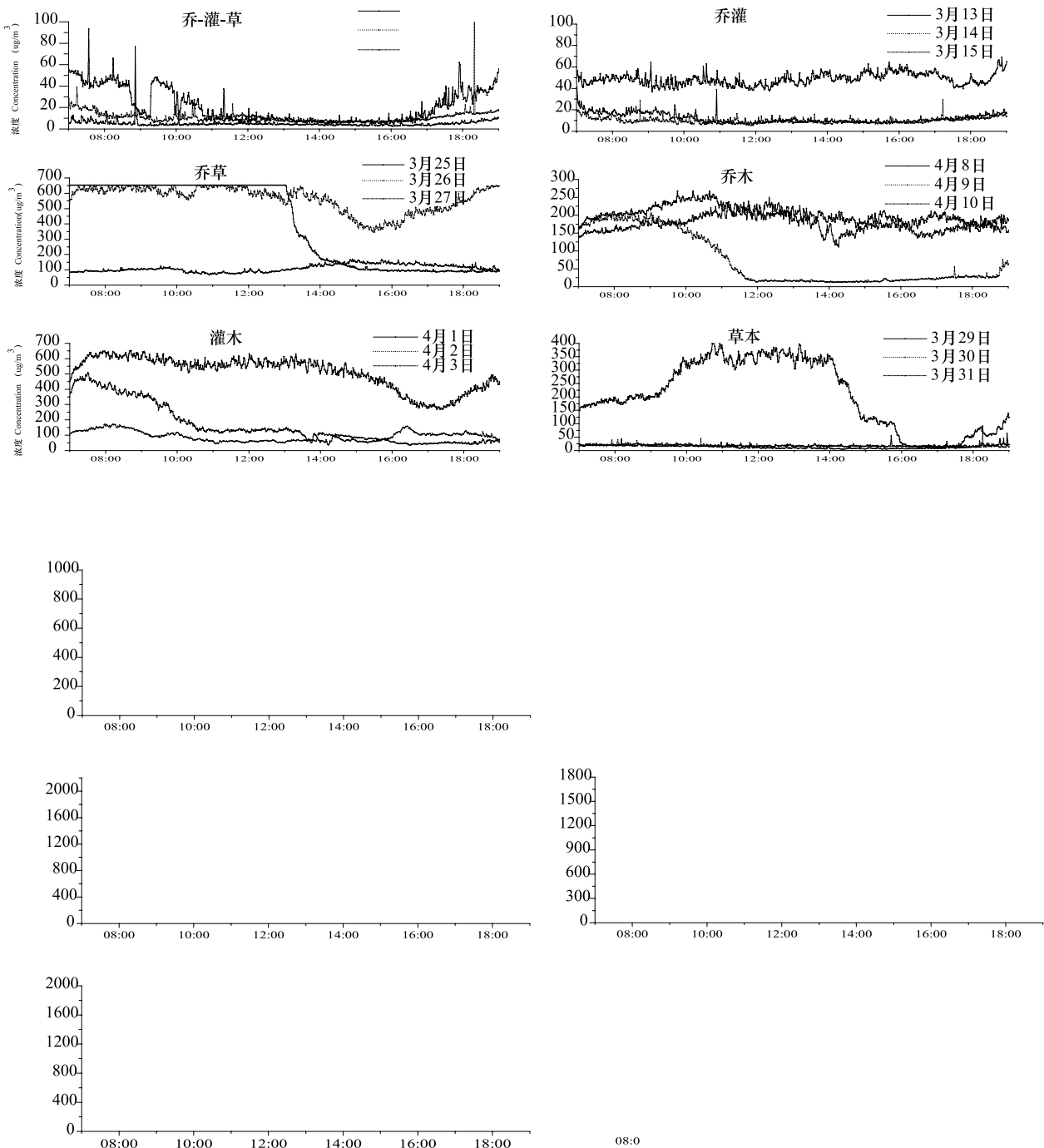


图2 不同绿化配置模式下 TSP、PM_{2.5} 浓度的日变化 (1.5m 高处)

Fig. 2 The diurnal change of the TSP and PM_{2.5} concentrations under different green configuration mode (1.5m high)

式中, P_2 为大气颗粒物垂直削减率; C_3 为 10m 测点空气大气颗粒物浓度; C_4 为 20 米测点大气颗粒物浓度。

2 结果与分析

2.1 大气颗粒物浓度日动态变化

在街道绿地环境下,TSP 与 $PM_{2.5}$ 浓度在白天均无明显的峰值波动, $PM_{2.5}$ 浓度日变化幅度高于 TSP 变化。在 6 种绿地配置模式下,乔-灌-草和乔-灌的大气颗粒物浓度日变化较其他 4 种绿地配置模式稳定(图 2)。

2.2 不同绿地配置模式对不同粒径颗粒物水平削减作用的比较

在颗粒物浓度($C_{PM_{2.5}} < 75 \mu g/m^3$)、气温($15^\circ C \pm 2^\circ C$)、相对湿度($40\% \pm 10\%$)最接近的条件下,六种绿地配置模式对 TSP、 PM_{10} 均有显著的削减作用。整体上看,绿地对不同粒径颗粒物削减作用依次为 $PM_{10} > PM_{2.5} > PM_1$,表明大气颗粒物粒径越大植被对其削减能力越强(图 3)。

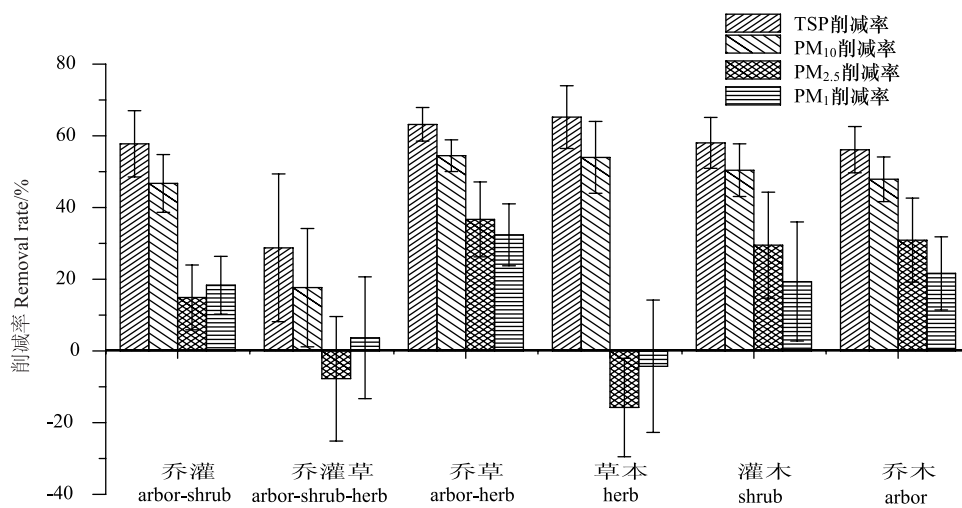


图 3 不同粒径大小颗粒物水平削减率日平均图

Fig. 3 Average daily horizontal decreasing rates of particulate matter of various diameters

$PM_{2.5}$ 水平削减率与气象因子相关分析表明, $PM_{2.5}$ 水平削减率与相对湿度呈显著负相关,风速对不同绿地配置模式 $PM_{2.5}$ 水平削减率的影响存在差异,草本(L4)配置模式 $PM_{2.5}$ 水平削减率与风速呈显著负相关而有别于其他绿地配置模式(表 2)。从图 3 中还可以看出,乔-灌-草、草本这两种绿地配置模式下, $PM_{2.5}$ 、 PM_1 出现“逆向削减”现象,这主要是因为植被对大气细颗粒物削减作用受风速影响明显。此外,受街道园林绿化灌溉增大相对湿度的影响,乔-灌-草配置模式水平削减率总体上低于其他 5 种绿地配置模式。

表 2 $PM_{2.5}$ 水平削减率与气象因子的相关系数

Table 2 Correlation coefficient between horizontal removal rate of $PM_{2.5}$ and meteorological factors

采样区域 Sample sites	风速 Wind speed (m/s)			相对湿度 Relative humidity (%)		
	相关性 Correlation coefficients	显著性 Significant coefficients	N	相关性 Correlation coefficients	显著性 Significant coefficients	N
L1	0.023	0.545	720	-0.101 **	0.007	720
L2	0.120 **	0.001	722	-0.140 **	0.000	722
L3	0.237 **	0.000	680	-0.673 **	0.000	680
L4	-0.098 **	0.008	739	-0.419 **	0.000	739
L5	0.343 **	0.000	751	-0.862 **	0.000	751
L6	0.531 **	0.000	724	-0.926 **	0.000	724

*. 在 0.05 水平(双侧)上显著相关.**. 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

2.3 不同配置模式对大气颗粒物浓度削减的影响

2.3.1 垂直削减

6种绿地配置模式下 TSP 消减率(P_1)均为正值,表明近地面 1.5m 高度 TSP 浓度明显高于 3m 位置,绿地在垂直向上方向 1.5m—3m 高度对 TSP 能够起到有效的削减作用,且草本、灌木配置模式下 P_1 (TSP)最高,乔木配置下 P_1 (TSP)最低;在 11:00am—13:00pm 时间段,绿地对 TSP 垂向削减能力达到最大,早晨和傍晚削减能力最小。6种绿地配置模式下 $PM_{2.5}$ 消减率(P_1)大体为负值,说明绿地在垂直向下方向 1.5m—3m 高度对 $PM_{2.5}$ 有明显的削减作用,其中草本对 $PM_{2.5}$ 的向下削减作用高于其它 5 种绿地配置模式(图 4)。

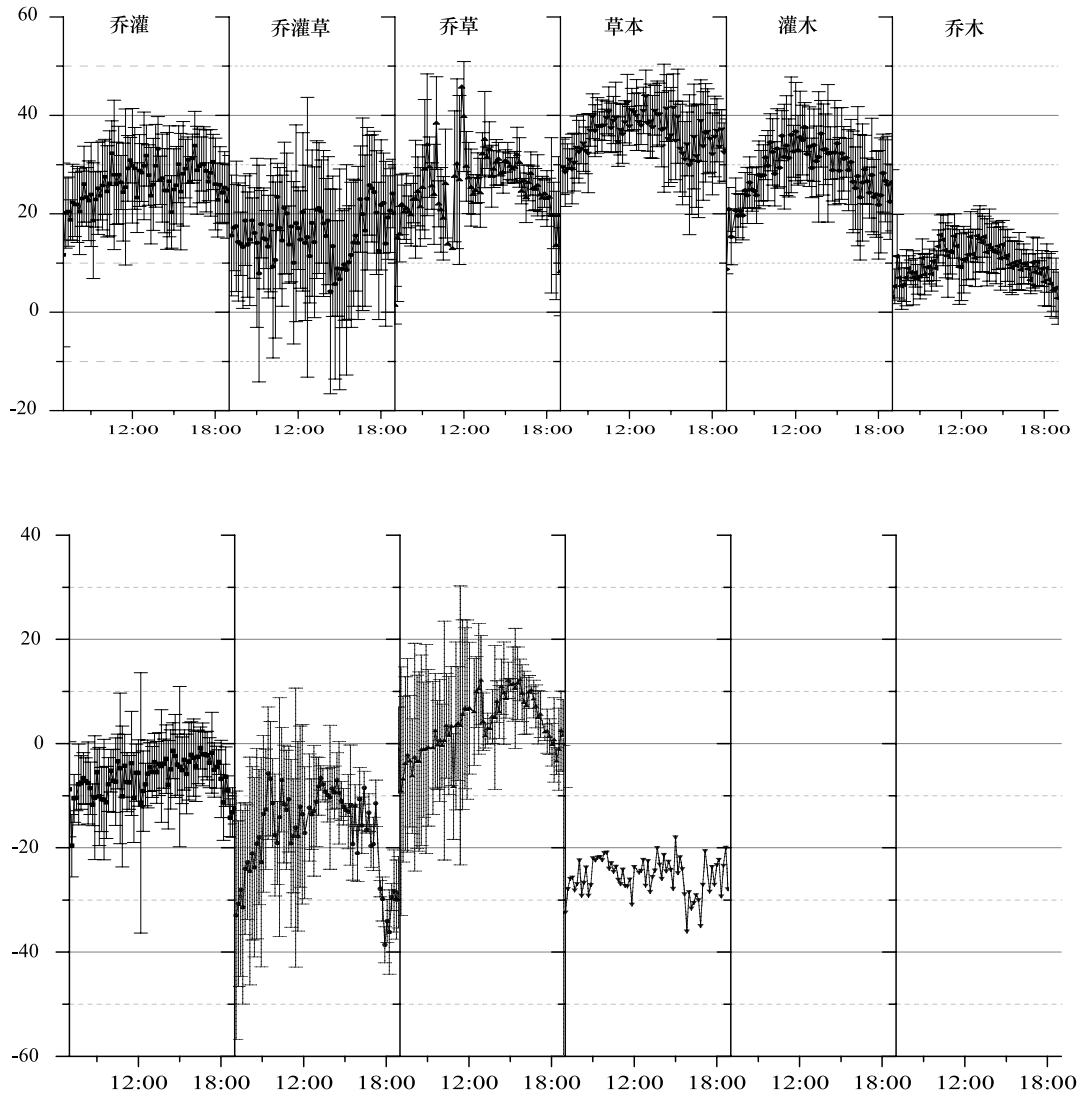


图 4 不同绿化配置模式下颗粒物的日平均垂直削减率(P_1)

Fig. 4 Average daily vertical removal rates of particulate matter under different green configuration mode(P_1)

2.3.2 水平削减

不同绿地配置模式对 TSP 均有明显的水平削减作用,削减能力强弱大体表现为:乔-草>灌木>乔木>草本>乔-灌>乔-灌-草。不同绿地配置模式对 $PM_{2.5}$ 水平削减作用有明显差异,乔-草、灌木、乔木配置 P_2 ($PM_{2.5}$)为正值,乔-灌、乔-灌-草、草本配置下 P_2 ($PM_{2.5}$)多为负值,表明不同绿地配置模式 $PM_{2.5}$ 削减方向存在差异(图 5)。

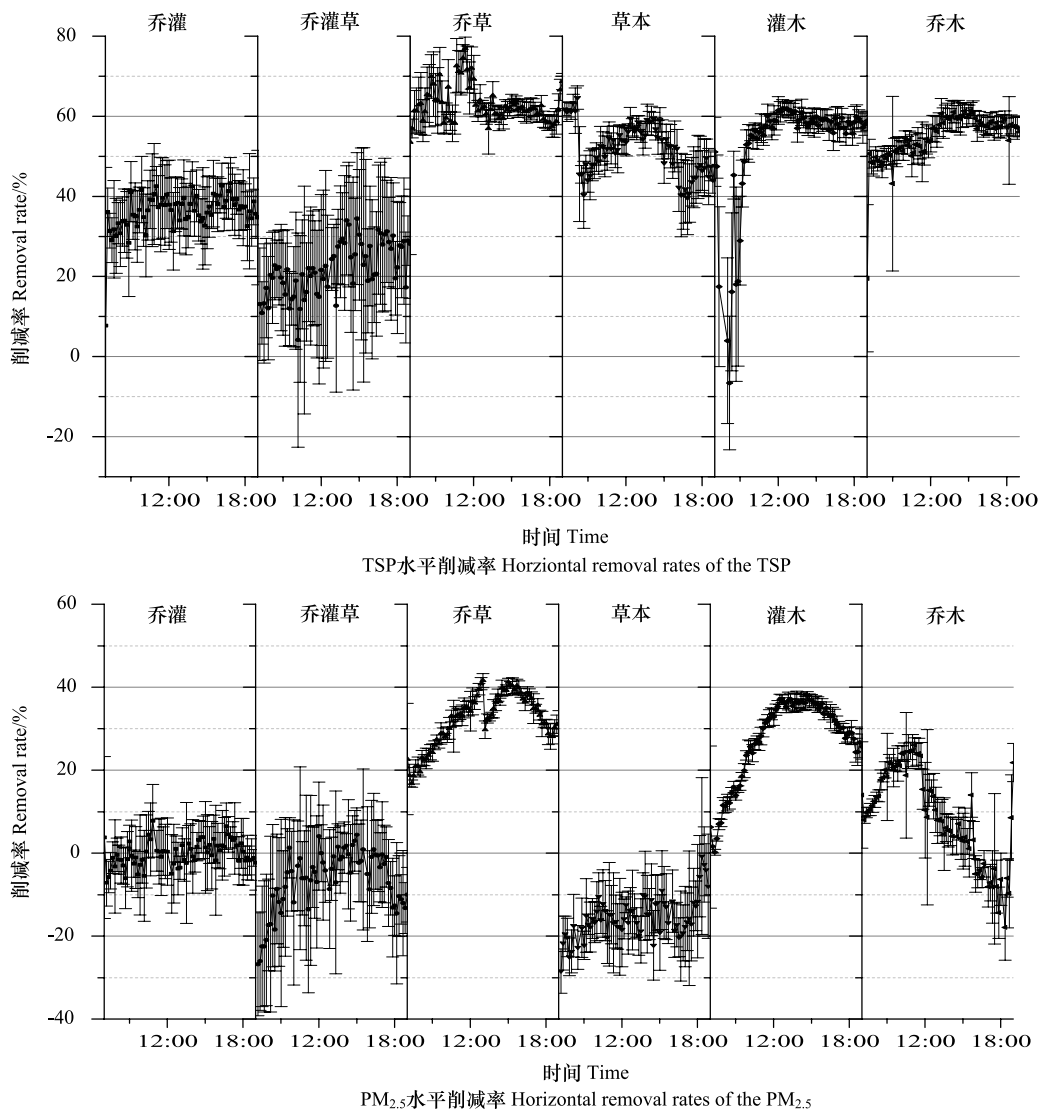


图 5 不同绿化配置模式下颗粒物的日平均水平削减率(P_2)

Fig. 5 Average daily horizontal removal rates of particulate matter under different green configuration mode(P_2)

绿地对大气颗粒物的削减受植被配置条件、气象因素的共同影响。由表 4 可见,在一定气象条件下,绿地配置之间对 P_1 (TSP)、 P_2 (TSP)、 P_2 (PM_{2.5})的影响有着显著差异(显著性(sig)<0.05)。同时,在一定绿地配置下,大气颗粒物削减率与温度呈显著正相关(sig<0.001);大气颗粒物水平削减率与风速呈显著负相关(sig<0.05);TSP 削减率与相对湿度呈显著正相关(sig<0.05);PM_{2.5} 垂直削减率与相对湿度显著负相关(sig<0.001)。

表 4 不同削减条件下颗粒物削减率和绿地配置模式、风速、温度和相对湿度的偏相关系数

Table 4 The second order correlation coefficient between removal rates and green space, wind speed (WS), temperature (T), and relative humidity (RH) in different removal conditions.

削减条件 Removal conditions	削减率 Removal rate- 风速 Windspeed	削减率 Removal rate- 温度 Temperature	削减率 Removal rate- 相对湿度 Relative Humidity	削减率 Removal rate- 绿地 Green space
P_1 (TSP)	-0.030(0.375)	0.282(0.000)	0.070(0.040)	0.171(0.000)
P_1 (PM _{2.5})	0.026(0.445)	0.193(0.000)	-0.078(0.023)	0.048(0.158)
P_2 (TSP)	-0.118(0.001)	0.488(0.000)	0.256(0.000)	0.402(0.000)
P_2 (PM _{2.5})	-0.68(0.048)	0.165(0.000)	0.52(0.132)	0.092(0.007)

3 讨论与结论

总体来看,复合配置模式比单一配置模式下空气颗粒物浓度稳定程度高,其主要受风速与空气相对湿度的影响;大气颗粒物粒径越大绿地对其削减作用越强;地表覆盖程度是影响不同绿地配置模式对大气颗粒物垂直削减的关键因素,地表覆盖越好垂直削减效果越好,且垂直削减率与温度成正相关关系;草本、灌木对大气颗粒物的水平削减作用比其他4种配置模式更好;植被郁闭度、植被疏透度以及植物配置种类是影响绿地系统对大气颗粒物垂直削减作用的主要因素,植被郁闭度与疏透度适中且植被类型多样的绿地配置模式水平削减效果越好,本研究中,乔-草、灌木绿地配置对大气颗粒物的水平削减作用比其他4种模式更好。

参考文献 (References):

- [1] 徐祥德, 汤绪. 城市化环境气象学引论. 北京: 气象出版社, 2002: 243-244.
- [2] 杨复沫, 贺克斌, 马永亮, 陈旭, Cadle S H, Chan T, Mulawa P A. 北京大气 PM_{2.5}中微量元素的浓度变化特征与来源. 环境科学, 2003, 24(6): 33-37.
- [3] 宋少洁, 吴焯, 蒋靖坤, 杨柳, 郝吉明. 北京市典型道路交通环境细颗粒物元素组成及分布特征. 环境科学学报, 2012, 32(1): 66-73.
- [4] Strand L B, Barnett A G, Tong S. Maternal exposure to ambient temperature and the risks of preterm birth and stillbirth in Brisbane, Australia. American Journal of Epidemiology, 2012, 175(2): 99-107.
- [5] 程渊. 我国大气污染及生物治理措施探讨. 林业资源管理, 2009, (3): 92-94.
- [6] Beckett K P, Freer-Smith P H, Taylor G. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. Environmental Pollution, 1998, 99(3): 347-360.
- [7] 周志翔, 邵天一, 王鹏程, 高翅, 徐永荣, 郭尔祥, 徐隆辉, 叶贞清, 彭行梅, 于春杰. 武钢厂区绿地景观类型空间结构及滞尘效应. 生态学报, 2002, 22(12): 2036-2040.
- [8] 蔺银鼎, 武小刚, 郝兴宇, 韩翀. 城市机动车道颗粒污染物扩散对绿化隔离带空间结构的响应. 生态学报, 2011, 31(21): 6561-6567.
- [9] 殷彬, 蔡静萍, 陈丽萍, 申哲民, 邹晓东, 吴旦, 王文华. 交通绿化带植物配置对空气颗粒物的净化效益. 生态学报, 2007, 27(11): 4590-4595.
- [10] 杨龙, 贺克斌, 张强, 王歧东. 北京秋冬季近地层 PM_{2.5}质量浓度垂直分布特征. 环境科学研究, 2005, 18(2): 23-28.
- [11] 黄鹤, 孙玫玲, 刘爱霞, 张长春. 天津城市大气污染物浓度垂直分布特征. 环境科学学报, 2009, 29(12): 2478-2483.
- [12] Beckett K P, Freer-Smith P H, Taylor G. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. Global Change Biology, 2000, 6(8): 995-1003.
- [13] 王蕾, 哈斯, 刘连友, 高尚玉. 北京市春季天气状况对针叶树叶面颗粒物附着密度的影响. 生态学杂志, 2006, 25(8): 998-1002.
- [14] 邱海玲. 北京城市热岛效应及绿地降温作用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [15] Lipfert F W, Wyzgab R E, Baty J D, Miller J P. Traffic density as a surrogate measure of environmental exposures in studies of air pollution health effects: Long-term mortality in a cohort of US veterans. Atmospheric Environment, 2006, 40(1): 154-169.
- [16] 谢绍东, 张远航, 唐孝炎. 机动车排气污染物扩散模式. 环境科学, 1999, 20(1): 104-109.
- [17] 钟珂, 亢燕铭, 王翠萍. 城市街口规划设计与城市空气环境的关系. 中国环境科学, 2001, 21(5): 460-463.
- [18] 刘立民, 刘明. 绿量——城市绿化评估的新概念. 中国园林, 2000, 16(5): 32-34.
- [19] 李萍, 王松, 王亚英, 郝兴宇, 武小刚, 阎海冰, 蔺银鼎. 城市道路绿化带“微峡谷效应”及其对非机动车道污染物浓度的影响. 生态学报, 2011, 31(10): 2888-2896.