文章编号:1672 - 3317(2017)03 - 0039 - 05

北京不同树种吸滞PM2.5特征研究

赵云阁[1]，谷建才[1]，刘海龙[2]，鲁绍伟[3]，赵东波[2]，陈　波[3]，陈鹏飞[2]，李少宁[3]

（1.河北农业大学 林学院，河北 保定 071000；2.北京市西山试验林场，北京 100093；
3.北京市农林科学院 林业果树研究所 北京林果业生态环境功能提升协同创新中心，北京 100093）

摘　要:以北京市6种常见树种为研究对象,测定不同园林绿化区PM2.5吸附量和质量浓度,探究绿化树种叶片在不同地区吸附PM2.5的变化规律及其与PM2.5质量浓度间关系。结果表明,不同树种叶片单位面积PM2.5吸附量差异显著,且在不同地点叶片吸附量变化规律基本表现为由“近郊—城区”逐渐下降,各树种叶片PM2.5的吸附量均与大气中PM2.5质量浓度呈正相关关系,其中,柳树($p<0.05$)、杨树($p<0.05$)和油松($p<0.01$)相关性显著;不同地点大气PM2.5质量浓度变化为西山森林公园(108.238 $\mu g/m^3$)>松山自然保护区(80.522 $\mu g/m^3$)>北京植物园(76.905 $\mu g/m^3$)>南海子公园(74.153 $\mu g/m^3$),表明树种叶片PM2.5吸附量随空气污染的加重而增加。

关　键　词:绿化树种；PM2.5；质量浓度；吸附量

中图分类号:X831　　**文献标志码**:A　　doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.03.007

赵云阁,谷建才,刘海龙,等. 北京不同树种吸滞PM2.5特征研究[J]. 灌溉排水学报,2017,36(3):39-43.

0 引 言

随着工业化、城市化进程不断加快,城市生态环境恶化日益严重,大气中PM2.5等颗粒物引起了人们的广泛关注。大气中颗粒物不仅引发视觉障碍,而且对人体健康和全球生态环境造成严重威胁[1]。PM2.5是颗粒物中危害较为严重的一类,因其粒径小,易富集多种有毒有害物质,可被直接吸入呼吸系统,引起呼吸系统等多种疾病[2]。据北京市PM2.5监测点数据显示,2013年北京市PM2.5年平均质量浓度为89.5 $\mu g/m^3$[3],尽管2014年有所下降,但年均质量浓度仍高达85.9 $\mu g/m^3$,超过国家标准1.45倍[4]。大量研究证实,城市绿化植物可以通过叶片吸附和过滤作用降低城市大气颗粒物污染,提高空气质量[1]。Nriague等[5]证明植物可以滞纳空气中的颗粒污染物,且利用植物叶片可以监测颗粒物污染。Hwang等[6]的研究表明,针叶树种吸附PM2.5等颗粒物能力高于阔叶树种。江胜利等[7]和戴斯迪等[8]的研究均表明绿色植物是滞留大气颗粒物的主要载体,且不同植物叶片表面特征是产生植物滞尘力差异的主因。王赞红等[9]在城市街道对常绿灌木植物叶片进行滞尘能力研究,结果表明大叶黄杨叶片在晴朗微风条件下,日平均滞尘量为0.861 4 g/m^2,单叶最大饱和滞尘量为11.619 7 g/m^2,且滞尘粒径为小于10 μm的颗粒物,深度清洗后叶片表面仍滞留粒径小于5 μm的颗粒物。虽然植物滞尘、净化大气方面的研究已经获得一些显著成果,但缺少不同区域树种滞尘力对比及其滞尘力与大气颗粒物质量浓度变化之间的关系。为此,在北京不同区域开展了绿化树种叶片滞尘力研究,并结合林内获得的大气颗粒物质量浓度变化数据,分析了叶片滞尘力与大气PM2.5质量浓度变化之间的关系,以期为北京市不同区域的绿化树种选择与配置提供科学指导与数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选取4个北京典型园林绿化区。其中,南海子公园(39°46′10″N,116°27′41″E)位于大兴新城、亦庄新城

收稿日期:2016-06-22

基金项目:国家林业局林业公益性行业科研专项(201204101);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(协同创新中心-市级)(PXM2016__014207__000038)

作者简介:赵云阁(1990-),女,河北阳原人。硕士研究生,主要研究方向为森林经理学。E-mail: 675420514@qq.com

通信作者:李少宁(1975-),男,河北滦县人。副研究员,博士,主要研究方向为城市森林生态功能研究。E-mail: lishaoning@126.com

与中心城区之间城乡结合部，车流量大，是北京南部最大人工湿地郊野公园，园内地被植物150 hm^2，乔灌木20万株，其中，常见乔木有雪松（*Cedrusatlantica*）、桧柏（*Sabina chinensis*）、银杏（*Ginkgo biloba*）等；北京植物园（40°00′01″N，116°12′54″E）位于西北近郊香山脚下，距市中心23 km，是中国北方最大的植物园，园内植物种类丰富，主要绿化树种有油松（*Pinustabuliformis*）、侧柏（*Platycladusorientalis*）、国槐（*Sophora japonica*）和白皮松（*Pinusbungeana*）等；西山森林公园（39°58′17″N，116°11′24″E）地处北京西郊小西山，距城区20 km，是距北京市区最近的国家级森林公园，总面积5 970 hm^2，森林覆盖率93.4%；松山自然保护区（40°29′57″，N115°49′8″E）位于北京延庆海坨山南麓，属燕山山脉，距市区90 km，最高海拔可达2 199.6 m，年均温度8.5 ℃，年均降水量493 mm，具有典型山地气候特征，是北京市西北方向保存完好的山地森林生态系统，区内形成的地带性植被为落叶阔叶林，包括白桦(*Betulaplatyphylla*)、蒙古栎(*Quercusmongolica*)、五角枫（*Acer mono*）、柳树（*Salix babylonica*）、白蜡（*Fraxinuschinensis*）、杨树（*Populus*）等。4个研究地均为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候，四季分明。

1.2 树种选择与叶片采集

依据北京市绿化树种应用的广泛性、典型性，在南海子公园、北京植物园、西山森林公园和松山自然保护区内选取6种树种。其中，针叶树2种：白皮松和油松；阔叶树4种：柳树、国槐、五角枫和杨树。于2014年秋季，在供试样树的东、西、南、北4个方向的上、中、下3个层次进行均匀采集叶片，封存于塑料袋中带回实验室以备测定。

1.3 叶片单位面积PM2.5吸附量的测定

应用气溶胶再发生器(QRJZFSQ-I)，将待测树种叶片上滞纳的颗粒物制成气溶胶，结合Dustmate手持PM2.5监测仪获得所制的气溶胶中PM2.5的质量浓度，同时采用叶面积扫描仪（EPSON Perfection V700，日本）和叶面积软件计算所测叶片的面积（S/cm^2），通过式（1）计算单位叶面积PM2.5的吸附量m（$\mu g/cm^2$）：

$$m=m_1/S\ , \tag{1}$$

式中：m为单位面积PM2.5吸附量（$\mu g/cm^2$），m_1为放入气溶胶再发生器叶片的PM2.5吸附量（μg），S为所测叶片的叶面积（cm^2）。

1.4 大气PM2.5质量浓度测定

南海子公园、西山森林公园及北京植物园的大气PM2.5质量浓度值均由北京市农林科学院建立的空气环境质量监测站实时监测数据得到，由于松山自然保护区没有林内监测站，因此数据采用了延庆镇PM2.5质量浓度值（北京市环境保护监测中心信息提供），该站监测设备与南海子公园等地的林内监测站设备采样频率一致，均每隔1 h记录1次数据。

1.5 数据处理

将叶片单位面积PM2.5吸附量及当地大气PM2.5质量浓度数据输入Excel进行处理，再利用SPSS软件对数据进行方差分析与显著相关性检验，最后应用Sigmaplot 12.5制图。

2 结果与分析

2.1 不同地点各树种叶片PM2.5吸滞特征

如表1所示，不同供试绿化树种在不同地点叶片单位面积PM2.5吸附量差异显著。相同树种叶片在不同地点单位面积PM2.5吸附量差异较大（α=0.05，Sig=0.015<0.05）。其中，在西山森林公园内各树种叶片单位面积吸附量最大，变化范围为0.112±0.010 6~1.078±0.393 4 $\mu g/cm^2$之间。不同种类的树种叶片单位面积吸附量差异显著（α=0.05，Sig=0.000<0.01）。针叶树种的吸附量明显高于阔叶树。以西山森林公园为例，针、阔叶树种平均吸附PM2.5差值为0.417 $\mu g/cm^2$。这是由于针叶树种叶片属于硬叶，且叶片结构粗糙，表面有绒毛或沟壑结构，有利于颗粒物的贮藏；阔叶树种叶片大部分较为柔软，叶片较薄，多数表面光滑，不利于颗粒物长期附着[10]。供试树种在不同地点叶片单位面积PM2.5吸附量基本变化规律为由“郊区—城区”吸附量呈逐渐下降趋势。这种变化趋势与不同地区实际大气污染程度不符，可能是由于林木在污染程度较高的地区，其生长发育受到胁迫，致使其生理特征发生细微变化而引起；也可能是因为南海子公园虽位于城区，但它是一座人工湿地公园，园内湿度较大，且相比郊区风力较小，不易产生大量飘尘。因此，空气中颗粒物质量浓度较低。松山自然保护区内，除白皮松（0.162±0.016 7 $\mu g/cm^2$）外，各树种叶片单位面积PM2.5吸附量相

差较小，各树种吸附量范围为0.013±0.008 8~0.021±0.010 3 μg/cm²。原因是松山自然保护区污染度较轻，且区内森林覆盖率较高，又具有独特山地气候特征，即海拔较高，风力大，温度低等特点，因此，林木叶片单位面积吸附量整体较低。不同树种叶片间吸附量差异显著的主要因素：一是叶片表面特征，包括叶面粗糙度、有无绒毛或沟壑结构等；其次是生长环境的地理及气候条件，包括海拔高度、温湿度及风速状况等条件。另外，森林覆盖率和植物配置方式也可能对林木叶片对PM2.5吸附量产生一定影响。

表1 不同地点各树种叶片PM2.5吸附量 μg/cm²

树种	南海子公园	北京植物园	西山森林公园	松山自然保护区
柳树	0.0137±0.000 6b	0.114±0.049 7b	0.286±0.054 4c	0.0130±0.008 8c
国槐	0.0144±0.008 8b	0.237±0.009 0a	0.420±0.0.167 4b	0.021±0.010 3b
五角枫	0.006±0.000 7d	0.062±0.015 6c	0.112±0.010 6e	0.020±0.014 4b
杨树	0.004±0.000 58d	0.026±0.005 2d	0.177±0.007 5d	0.018±0.006 7b
白皮松	0.181±0.022 7a	0.064±0.008 3c	0.254±0.113 0c	0.162±0.016 7a
油松	0.074±0.009 1c	0.334±0.122 4a	1.078±0.393 4a	0.016±0.011 4b

注 表中数据为平均值±标准差；同列不同字母表示在0.05水平上差异显著。

2.2 不同地点大气PM2.5质量浓度

图1为不同地点大气中PM2.5的实时监测质量浓度。由图1可知，不同地点大气PM2.5质量浓度变化规律基本一致，均在9月出现3次高峰值，3次低谷值，10月以后，PM2.5质量浓度有所下降，但起伏变化较小，在10月7日左右出现明显低谷，这主要是因为PM2.5质量浓度受人为因素影响较大[11]；之后，PM2.5质量浓度持续上升，10月10日再次出现高峰，亦为30 d观测中的最大值。9月PM2.5质量浓度变化波动较小，而10月上旬PM2.5质量浓度变化起伏明显高于9月，这可能是因为北京地区9月温度较高，且降雨较多，导致环境中湿度高，利于颗粒物沉降。4个地点PM2.5平均质量浓度排序为西山森林公园（108.238 μg/m³）>松山自然保护区（80.522 μg/m³）>北京植物园（76.905 μg/m³）>南海子公园（74.153 μg/m³），近郊地区大气中PM2.5的质量浓度反而大于市区，引起这种现象的主要原因是城市热岛效应。

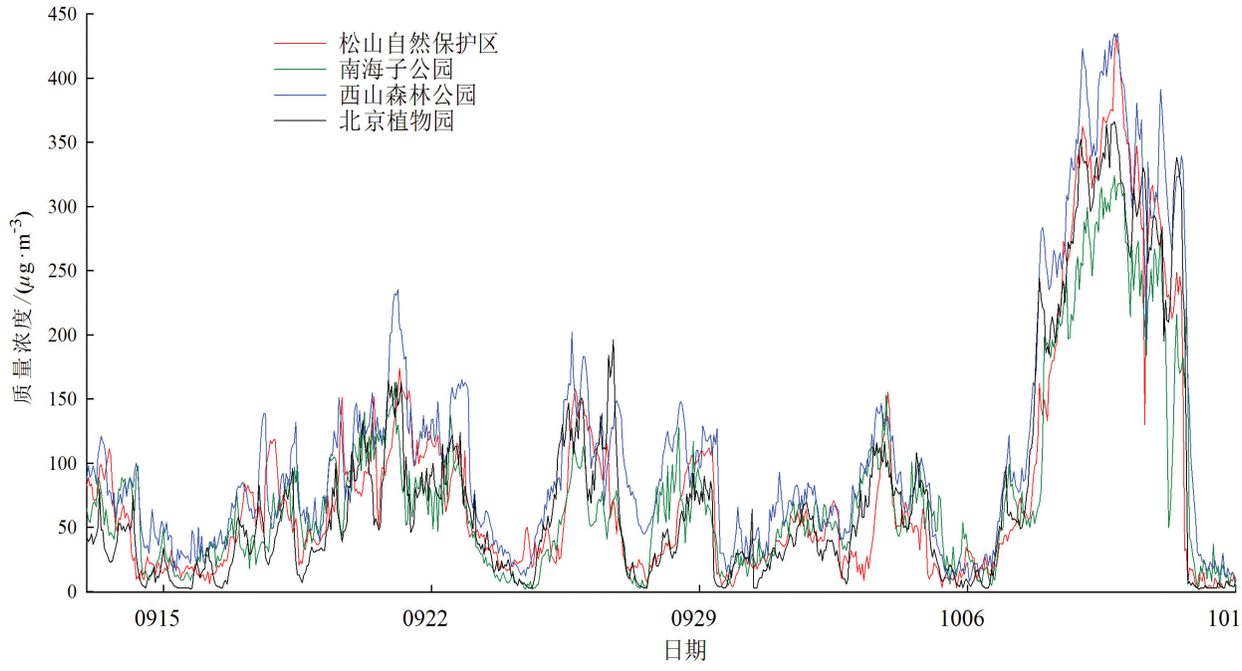

图1 不同地点大气PM2.5质量浓度变化

2.3 叶片PM2.5吸附量与大气PM2.5质量浓度关系

不同树种叶片单位面积PM2.5吸附量与大气中PM2.5质量浓度相关性见表2，6种参试林木叶片单位面积PM2.5的吸附量均与大气PM2.5质量浓度呈正相关关系，部分树种叶片与PM2.5质量浓度相关性显著。其中，柳树（$p<0.05$）和杨树（$p<0.05$）显著相关，油松（$p<0.01$）为极显著相关。说明叶片PM2.5单位面积吸附量与其生长地区大气中PM2.5质量浓度存在一定相关关系。

表2 树种叶片PM2.5吸附量与大气PM2.5质量浓度相关性

树种	Pearson相关性	显著性	*N*
柳树	0.972*	0.028	4
国槐	0.914	0.086	4
五角枫	0.919	0.081	4
杨树	0.988*	0.012	4
白皮松	0.656	0.344	4
油松	0.991**	0.009	4

注 *表示在0.05水平(双侧)显著相关;**表示在0.01水平(双侧)显著相关。

综上所述,测试树种叶片吸附量均表现为在西山森林公园和北京植物园内的吸附量高于南海子公园,且整体吸附量变化规律与不同地点PM2.5质量浓度变化相似,即由"近郊—城区"呈逐渐下降的趋势。而松山自然保护区的大气PM2.5平均质量浓度(80.522 $\mu g/m^3$)高于北京植物园(76.905 $\mu g/m^3$),这可能是因为研究中松山自然保护区内没有监测站,其质量浓度数据来源于相近地区延庆镇的质量浓度,因此,相比北京植物园林内监测站的PM2.5质量浓度较高。

3 讨论与结论

3.1 不同树种吸附PM2.5差异特征

不同树种吸附颗粒物的能力具有一定差异,Wedding等[12]认为叶片结构对颗粒物的吸附效率极其重要。因此,国内外诸多学者对此进行了验证,结果显示具有绒毛、沟壑及分泌物等特征的植物叶片吸附颗粒物能力强[13-17]。Dzierzanowski等[18]的研究结果表明,针叶树种吸附颗粒物的能力高于阔叶树种,这与本研究中针叶树单位面积PM2.5吸附量大于阔叶树的结论一致,说明针叶树叶片结构较阔叶树粗糙,更有利于PM2.5等颗粒物的吸附滞留。此外,Tomasevic等[19]和Kretinin等[20]的研究表明温度、湿度、风速及海拔等环境因子均对林木滞尘能力有一定的影响。本研究中松山自然保护区内各树种叶片单位面积PM2.5吸附量均较低,各参试树种吸附量分别为柳树(0.013 0±0.008 8 $\mu g/cm^2$)、国槐(0.021±0.010 3 $\mu g/cm^2$)、五角枫(0.020±0.014 4 $\mu g/cm^2$)、杨树(0.018±0.006 7 $\mu g/cm^2$)、白皮松(0.162±0.016 7 $\mu g/cm^2$)和油松(0.015 9±0.011 4 $\mu g/cm^2$),仅为西山森林公园各树种(柳树、国槐、五角枫、杨树、白皮松和油松)叶片吸附量的4.5%、5%、17.8%、10.2%、63.8%和1.5%,这是因为松山自然保护具有典型山地气候特征,即区内温度较低,风速大且海拔较高等特点,致使区内林木叶片吸附量相对较小;松山自然保护区中各阔叶树种间吸附量差异不明显,最大差量为0.008 $\mu g/cm^2$,这是由于阔叶树其叶片虽宽大,但叶质柔软、平展,颗粒物易被大风吹落。这些结果均说明海拔、温度、风速等环境因子均对林木叶片滞纳PM2.5的能力有一定影响。

3.2 不同地点PM2.5吸附量与PM2.5质量浓度关系

研究表明,环境中粉尘污染程度及尘源距离均与植物滞尘能力密切相关[21]。同种植物在污染程度较大的区域其滞尘量通常高于轻度污染区,其叶片滞尘量会随着环境中粉尘含量的增多而增大[22-23]。本研究中6种树木叶片在不同地点树种叶片单位面积PM2.5吸附量基本变化规律与大气PM2.5质量浓度的变化趋势一致,即由"近郊—城区"逐渐下降,相关性检验显示,吸附量与大气PM2.5质量浓度呈正相关关系,其中,柳树($p<0.05$)和杨树($p<0.05$)为显著相关,油松($p<0.01$)为极显著相关,研究结果与前人研究结果相近,因此,在一定范围内,树种滞纳PM2.5量随空气污染的加重呈上升趋势。

致谢:感谢南海子公园、北京植物园、西山国家森林公园及松山国家级自然保护区对本实验提供的帮助和大力支持,特在此表示感谢!

参考文献:

[1] 黄宇轩. 6种公路常绿植物叶面特性对滞尘效果的影响研究[J]. 南方林业科学,2015,43(2): 42-44.
[2] 杨洪斌, 邹旭东, 汪宏宇, 等. 大气环境中PM2.5的研究进展与展望[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(3): 77-82.
[3] 王兵, 张维康, 牛香, 等. 北京10个常绿树种颗粒物吸附能力研究[J]. 环境科学, 2015, 36(2): 408-414.
[4] 丁峰. 北京: 2014年PM2.5年均浓度同比下降4.0%.[EB/OL]新华网2015-1-4:http://news.xinhuanet.com/local/2015-01/04/c_1113867637.htm.
[5] NRIAGU J O. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals[J]. Nature, 1989, 338(6 210):47-49.
[6] HWANG H J, YOOK S J, AHN K H. Experimental investigation of submicron and ultrafine soot particle removal by tree leaves[J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(38): 6 987-6 994.
[7] 江胜利, 金荷仙, 周金富, 等. 杭州地区常见行道树滞尘效益研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(10): 282-288.
[8] 戴斯迪, 马克明, 宝乐. 北京城区行道树国槐叶面尘分布及重金属污染特征[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5 095-5 102.
[9] 王赞红, 李纪标. 城市街道常绿灌木植物叶片滞尘能力及滞尘颗粒物形态[J]. 生态环境, 2006, 15(2): 327-330.

[10] 方颖. 城市森林绿地系统的生态环境功能研究[D]. 南京: 南京林业大学,2006.
[11] 吴志萍, 王成, 侯晓静, 等. 6种城市绿地空气 PM2.5浓度变化规律的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2008, 35(4): 494-498.
[12] WEDDING J.B., CARLSON R.W., STUKEL J.J., et al. Aerosol deposition on plant leaves[J]. Environmental Science and Technology , 1975, 9(2): 151-153.
[13] 王蕾, 高尚玉, 刘连友, 等. 北京市 11 种园林植物滞留大气颗粒物能力研究[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 597-601.
[14] 刘璐, 管东生, 陈永勤. 广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2 604-2 614.
[15] 齐飞艳, 朱彦锋, 赵勇, 等. 郑州市园林植物滞留大气颗粒物能力的研究[J]. 河南农业大学学报, 2009, 43(3): 256-259.
[16] 房瑶瑶,王兵,牛香. 叶片表面粗糙度对颗粒物滞纳能力及洗脱特征的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4):110-115.
[17] SABIN L D, HEE LJ, TERESA V M, et al. Dry deposition and resuspension of particle-associated metals near a freeway in Los Angeles[J]. At mospheric Environment, 2006, 40(39):7 528-7 538.
[18] DZIERZANOWSKI K, POPEKR, GAWRONSK H, et al. Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species[J]. International Journal of Phytoremediation, 2011, 13(10): 1 037-1 046.
[19] TOMASEVIC M, VUKMIROVIC Z, RAJSIC S, et al. Characterization of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area[J]. Chemosphere, 2005, 61(6): 753-760.
[20] KRETININ V M, SELYANINAZ M. Dust retention by tree and shrub leaves and its accumulation in light chestnut soils under forest shelter belts[J]. Eurasian Soil Science, 2006, 39(3): 334-338.
[21] 张灵艺, 秦华. 城市园林绿地滞尘研究进展及发展方向[J]. 风景园林植物, 2015, 64(5): 64-68.
[22] 邱媛, 管东生, 宋巍巍. 惠州城市植被的滞尘效应[J]. 生态学报, 2008, 28(6): 2 455-2 462.
[23] 马晓龙, 贾媛媛, 赵荣. 城市绿地系统效益评价模型的构架与应用[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(5): 28-30.

Characteristics of PM2.5 Absorption of 6 Tree Species and Its Relationship with Atmospheric PM2.5 Concentration in Beijing

ZHAO Yunge[1], GU Jiancai[1], LIU Hailong[2], LU Shaowei[3], ZHAO Dongbo[2], CHEN Bo[3], CHEN Pengfei[2], LI Shaoning[3]

(1.College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China; 2.Xishan Experimental Forest Farm of Beijing, Beijing 100093, China; 3. Forestry and Pomology Institute, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences Beijing Collaborative Innovation Center for Eco-environmental Improvement with Forestry and Fruit Trees, Beijing 100093, China)

Abstract: In order to explore the variation of PM2.5 adsorption on the leaves of green tree species in different regions and their relationship with PM2.5 mass concentration, the six common tree species of Beijing city were used as the research object and PM2.5 adsorption capacity and its mass concentration were determined respectively in different regions. The results showed that PM2.5 of different tree species adsorption capacity of per unit leaf area were obviously different. And the PM2.5 adsorption capacity of leaves tended to decrease from suburban to urban. There was significant correlation between the PM2.5 adsorption of leaves and PM2.5 concentration in the atmosphere, especially the Salix babylonica ($p<0.05$), Populus ($p<0.05$) and Pinustabuliformis ($p<0.01$); PM2.5 concentration in different areas decreased in the order of Xishan Forest Park (108.238 $\mu g/m^3$), Songshan Nature Reserve (80.522 $\mu g/m^3$), Beijing Botanical Garden (76.905 $\mu g/m^3$), Nanhaizi Park (74.153 $\mu g/m^3$). The PM2.5 adsorption capacity in tree species increased along with the increase of air pollution.

Key words: greening tree species; PM2.5; concentration; adsorption capacity

责任编辑:白芳芳