

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2016.08.2016010801

程雨萌, 王云琦, 王玉杰, 等. 北京市 5 种典型植物滞尘特征及影响因素[J]. 环境化学, 2016, 35(8): 1690-1697
CHENG Yumeng, WANG Yunqi, WANG Yujie, et al. Particulate matter adsorption and the main influencing factors of five typical plants in Beijing [J]. Environmental Chemistry, 2016, 35(8): 1690-1697

北京市 5 种典型植物滞尘特征及影响因素*

程雨萌¹ 王云琦^{1,2,3**} 王玉杰^{1,2,3} 张会兰^{1,3} 梁 丹¹

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京, 100083; 2. 北京市水土保持工程技术研究中心, 北京, 100083;
3. 北京林业大学水土保持学院重庆缙云山生态站, 重庆, 400702)

摘 要 采用室内实验法定量比较北京市 5 种典型植物(大叶黄杨、月季、榆叶梅、紫薇、五叶地锦)叶片滞留颗粒物以及吸附水溶性离子的能力差异, 并从叶表面特征分析差异原因. 结果表明, 不同植物叶片滞留 TSP 的能力大小顺序为: 五叶地锦>紫薇>榆叶梅>月季>大叶黄杨. 滞留 PM₅₋₁₀ 的能力大小顺序为: 月季>榆叶梅>紫薇>大叶黄杨>五叶地锦. 滞留 PM₅ 的能力大小顺序为: 大叶黄杨>月季>紫薇>榆叶梅>五叶地锦. 利用离子色谱法等测定颗粒物的化学组分, 其主要组分为: 有机碳(34.24%)、无机碳(33.45%)、硅(15.43%)、硫酸盐(14.18%)、氯化物(11.75%)、硝酸盐(1.45%), 表现出道路环境特征和二次污染特征. 在扫描电镜下观察叶表微观结构, 发现叶表面有沟槽的五叶地锦和紫薇的滞尘能力较强, 叶表气孔密度大的大叶黄杨阻滞细颗粒物能力较强, 这从一定程度解释了不同植物阻滞颗粒物能力差异的主要原因. 在研究期间内, 5 种植物叶片上的颗粒物滞留量呈增加趋势. 降雨对叶面 TSP 冲刷作用明显, 对 PM₅₋₁₀ 和 PM₅ 的影响较小.

关键词 北京市, 典型植物, 滞尘能力, 扫描电镜.

Particulate matter adsorption and the main influencing factors of five typical plants in Beijing

CHENG Yumeng¹ WANG Yunqi^{1,2,3**} WANG Yujie^{1,2,3} ZHANG Huilan^{1,3} LIANG Dan¹

(1. Beijing Forestry University, School of Soil and Water Conservation, Beijing, 100083, China;
2. Engineering Technology Research Center for Soil and Water Conservation at Beijing, Beijing, 100083, China;
3. Chongqing Jinyun Forest Ecological Station, School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Chongqing, 400702, China)

Abstract: Five typical plants (*Buxus megistophylla*, *Rosa chinensis*, *Amygdalus triloba*, *Lagerstroemia indica*, *Parthenocissus quinquefolia*) in Beijing were selected to examine the adsorption ability for particulate matter and soluble ions by quantifying the leaf microstructure. The results showed that adsorption ability for particulate matter was in the order of *Parthenocissus quinquefolia* > *Lagerstroemia indica* > *Amygdalus triloba* > *Rosa chinensis* > *Buxus megistophylla*; for PM₅₋₁₀ *Rosa chinensis* > *Amygdalus triloba* > *Lagerstroemia indica* > *Buxus megistophylla* > *Parthenocissus quinquefolia*; for PM₅ *Buxus megistophylla* > *Rosa chinensis* > *Lagerstroemia indica* > *Amygdalus triloba* > *Parthenocissus quinquefolia*. Predominant chemical compositions were organic carbon (34.24%), inorganic carbon (33.45%), silicon (15.43%), sulphate (14.18%), chloride (11.75%) and nitrate (1.45%) by ion chromatography, illustrating charactersitics of road environment and secondary pollution. Leaf microstructure was observed using scanning electron

2016 年 1 月 8 日收稿 (Received: January 8, 2016).

* 国家林业公益性行业科研专项(201304301)资助.

Supported by the Forestry Public Welfare Project of China (201304301).

** 通讯联系人, Tel: 010-62336624, E-mail: wangyunqishuibao@bjfu.edu.cn

Corresponding author, Tel: 010-62336624, E-mail: wangyunqishuibao@bjfu.edu.cn

microscopy. *Parthenocissus quinquefolia* and *Lagerstroemia indica* with groove on leaf surface had stronger dust-retention abilities, *Buxus megistophylla* with high stomatal density had stronger capability of adsorbing fine particulate matters, which explains the differences in the ability of adsorbing particulate matter between trees in a certain extent. During the study period, the particles amounts retained on five plants leaves showed an increasing trend. Rainfall removed particulate matter on leaf surface significantly, but had little influence to PM_{5-10} and PM_5 on leaf surface.

Keywords: Beijing, typical plant, dust-retention abilities, scanning electron microscope.

近年来,随着我国经济的快速发展,大气颗粒物污染已成为我国许多大城市最严重的环境问题之一,对人体健康造成了极大的威胁^[1].大气颗粒物是指空气动力学直径在 0.001—100 μm 的颗粒^[2],由碳(元素碳和有机碳)、铵盐、硝酸盐、硫酸盐、氯盐、矿物尘、重金属元素以及水等组成^[3],按照空气动力学直径的大小,可将其分为总悬浮颗粒物(TSP, $d<100\ \mu m$),可吸入颗粒物(PM_{10} , $d<10\ \mu m$)和细颗粒物($PM_{2.5}$, $d<2.5\ \mu m$),其中可吸入颗粒物和细颗粒物能够被人体吸入,对人体健康影响最大^[4].2013 年 1 月,北京市雾霾天气为 26 d,占当月总天数的 87%,是 1954 年以来同期雾霾天气最多的一年,这一现象引起了国内外对大气颗粒物污染的广泛关注^[5].研究表明,机动车污染是北京市大气颗粒物污染的首要污染源^[6],80%对人体有害的颗粒物来自道路交通^[7].目前,植物被认为是滞留颗粒物非常有效的措施^[8],关于植物对颗粒物的净化作用主要有以下几种研究方法:(1)以 Nowak 为代表,从大尺度方向利用模型来评估城市植物滞留颗粒物的量,并换算成经济指标^[9].(2)以 Sæbø 和 Popek 等为代表,定量研究叶表面颗粒物的滞留作用^[10-11].许多研究针对不同树种滞留颗粒物的能力进行了测定,结果表明不同树种滞留颗粒物的能力差异大,影响植物滞留颗粒物能力的主要因素有叶表结构:叶表面气孔密度越大,滞尘能力越强^[12],叶片面积小、表皮角质丰富和细胞壁凸凹不平、气孔密、气孔口大的树木属气孔吸附主导型,主要吸附细颗粒物,表皮毛多的树木属表皮吸附主导型,主要吸附粗颗粒物^[13].树种特性和叶表结构不仅影响植物滞留颗粒物的总量,也影响植物对不同粒径颗粒物的阻滞.Dzierzanowski^[14]发现,叶面滞留颗粒物组分以总悬浮颗粒物为主,可吸入颗粒物次之,细颗粒物最少;王兵等^[15]利用空气气溶胶再发生器测定了北京市 10 个常绿树种对不同粒径颗粒物的滞留能力;Sæbø 等^[11]用水洗过滤法测定了不同树种对颗粒物的滞留能力,结果有一定的准确性.

然而,颗粒物被植物滞留后,能够在风的作用下发生再悬浮回到大气中.通过降雨,叶片上的颗粒物被清洗并随着雨水到达土壤,进入下一个生物大循环中去.Sgrigna^[16]等认为叶片上的颗粒物及水溶性粒子能随着降雨被洗刷.王蕾等^[17]的研究表明侧柏和圆柏叶表面密集脊状突起间的沟槽可深藏许多颗粒物,叶面部分颗粒物附着牢固,不能被中等强度(15 mm)的降雨冲掉.降雨主要是清除可吸入颗粒物中的粗颗粒,而对细颗粒的影响较小^[18].Mori 等^[19]对意大利的 6 种常绿灌木植物夏季滞尘量的研究发现,叶片上的滞尘量在降雨影响下一般呈先增加后降低的趋势.目前,许多研究在生长季末采集叶片,测量植物对颗粒物的滞留作用,而忽略了在整个过程中,植物叶片滞留颗粒物的动态变化过程以及降雨对颗粒物的作用.

因此,本研究在总结国内外研究方法的基础上,于 2014 年夏季针对典型道路交通环境,选择北京市 5 种典型的道路绿化植物,用过滤法测定不同植物对不同粒径颗粒物的滞留能力.研究目的如下:(1)测定不同植物对不同粒径的阻滞能力差异,从微观结构方面进行解释;(2)测定不同植物叶片上的总颗粒物的水溶性离子组分;(3)分析研究时间段内,树叶叶片滞留颗粒物的时间变化及降雨的影响.

1 材料与方法 (Materials and methods)

1.1 植物与样地选择

选择北京市海淀区林大北路(N40°0'22.37",E116°20'7.76")一个典型道路交通环境.选择道路两边的 5 种常见植物[包括 2 种灌木:大叶黄杨(*Buxus megistophylla*)、月季(*Rosa chinensis*),2 种小乔木:榆叶梅(*Amygdalus triloba*)、紫薇(*Lagerstroemia indica*)和 1 种藤本植物:五叶地锦(*Parthenocissus*

quinquefolia)(表1)],每种植物选择3株胸径和高度基本一致、没有病虫害的健康样株.

表 1 5种植物的形态特征
Table 1 Morphological characteristics of five plants

植物 Plant	科名 Family name	形态特征 Morphological feature
大叶黄杨 <i>Buxus megistophylla</i>	卫矛科	灌木或小乔木,高0.6—2.2 m,胸径5 cm;叶革质或薄革质,卵形、椭圆状或长圆状披针形以至披针形叶面光亮,侧脉多条.
五叶地锦 <i>Parthenocissus quinquefolia</i>	葡萄科	木质藤本,小枝圆柱形,无毛,叶为掌状5小叶,叶片大,小叶倒卵圆形、倒卵椭圆形或外侧小叶椭圆形,边缘有粗锯齿,两面均无毛或下面脉上微被疏柔毛;侧脉5—7对,网脉两面均不明显突出.
月季 <i>Rosa chinensis</i>	蔷薇科	直立灌木,高1—2 m;小叶3—5,边缘有锐锯齿,两面近无毛;托叶大部贴生于叶柄,仅顶端分离部分成耳状,边缘常有腺毛.
紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	千屈菜科	落叶灌木或小乔木,高可达7 m;叶互生或有时对生,纸质,椭圆形、阔矩圆形或倒卵形,长2.5—7 cm,宽1.5—4 cm,顶端短尖或钝形,有时微凹,基部阔楔形或近圆形,无毛或下面沿中脉有微柔毛.
榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i>	蔷薇科	短枝上的叶常簇生,一年生枝上的叶互生;叶片宽椭圆形至倒卵形,长2—6 cm,宽1.5—3 cm,先端短渐尖,常3裂,基部宽楔形,上面具疏柔毛或无毛,下面被短柔毛,叶边具粗锯齿或重锯齿.

1.2 采样与颗粒物测量

研究表明,植物叶片累积颗粒物在15 d左右达到饱和^[20].选择2014年夏季连续半个月未降雨(日降雨量小于10 mm,视为未降雨)时间采集叶片,叶片采集时间集中在7月6日、8月15日、8月16日、9月15日、9月18日的8:00 am—10:00 am.用剪刀轻轻剪下每种植物的3株样株中靠近马路边的叶片,尽量减少叶片震动,将采集的叶片混合后作为一个样本,放入牛皮纸样本袋中并编号,共采集叶片5次,每次每种植物采集3个重复样,每种采集15个样本,本研究共收集75个样本.300—400 cm²的叶片量是过滤叶片颗粒物的最佳选择^[15].经过预实验,大叶黄杨、月季、榆叶梅、紫薇、五叶地锦采集的最佳数量分别为50片、30片、8片、30片、3片.样本采集后放入0℃恒温箱中直至分析.

将每个样本在250 mL的蒸馏水中浸泡1 h,并用软刷对叶片的正反面进行刷洗,滤出叶片,将滤液装入广口瓶;再次将滤出的叶片放入250 mL蒸馏水中进行二次清洗,重复以上操作,最后将500 mL滤液装入塑料广口瓶中并贴上标签,存入0℃恒温箱中备用.

将100、10、5、0.1 μm等4个孔径的滤膜在60℃条件多次干燥直至恒重,在固定温度和湿度的环境里称重,重量记为 $W_{1,2,3,4}$.将滤膜装入4层过滤器中,连接迷你空压机(硅莱GW206, GREELOY, 220 V/50 HZ, 35—40 L·min⁻¹)进行过滤.同时,将4种滤膜放入装有蒸馏水的玻璃皿中浸泡作为过滤的空白对照组,防止滤膜在过滤前和过滤后因质量的微量变化而造成误差,对照组滤纸重量记为 $\varepsilon_{1,2,3,4}$.过滤完成后小心将过滤器和玻璃皿中的滤膜取出,于60℃干燥箱中干燥30 min,多次干燥至恒重后在固定温度和湿度的环境里称重,重量记录为 $W_{a,b,c,d}$,空白组重量记为 $\varepsilon_{a,b,c,d}$.

1.3 叶面积测量

将经过蒸馏水清洗后的叶片置于白纸上晾干,利用手持叶面积测量仪(浙江托普仪器有限公司, YMJ-B)测量每个样的总叶面积,叶面积值记为 A ,最后用单位叶面积的颗粒物量 $P(\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2})$ 来表示测量结果.计算公式如下:

$$P = \frac{(W_{a,b,c,d} - W_{1,2,3,4}) - (\varepsilon_{a,b,c,d} - \varepsilon_{1,2,3,4})}{A}$$

(1)

1.4 叶表结构特征分析

选取经烘干的健康叶片上下表面并避开主叶脉,随机割取5 mm×5 mm的样品,用双面胶黏在样品台上,用日立S-3400N扫描电子显微镜,在适当的放大倍数下(1000倍,500倍),随机选取单位面积(0.1 mm×0.1 mm)对叶片的正反面气孔数量(s)、气孔平均直径($d, \mu\text{m}$)、叶毛数量(h)、叶表粗糙程度(高,中,低)进行统计,重复观察10次.

2 结果与讨论(Results and discussion)

2.1 不同植物颗粒物阻滞能力比较

由图 1 可知,不同植物滞留颗粒物的能力有较大差异.滞留 TSP 的能力大小顺序为:五叶地锦 ($42.93\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>紫薇 ($34.74\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>榆叶梅 ($20.10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>月季 ($11.93\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>大叶黄杨 ($11.44\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$).滞留 PM_{5-10} 的能力大小顺序为:月季 ($6.20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>榆叶梅 ($5.36\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>紫薇 ($2.52\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>大叶黄杨 ($2.07\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>五叶地锦 ($1.52\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$).滞留 PM_5 的能力大小顺序为:大叶黄杨 ($5.20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>月季 ($4.50\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>紫薇 ($2.31\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>榆叶梅 ($1.48\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)>五叶地锦 ($1.00\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$).滞留颗粒物总量的能力大小顺序依次为:五叶地锦>紫薇>榆叶梅>月季>大叶黄杨.由以上分析可知,从滞留总量来看,五叶地锦是滞留颗粒物能力最强的植物,大叶黄杨是滞留颗粒物能力最弱的植物.但不同植物对不同粒径颗粒物的滞留能力不同,五叶地锦主要滞留 TSP,月季主要滞留 PM_{5-10} ,大叶黄杨主要滞留 PM_5 .

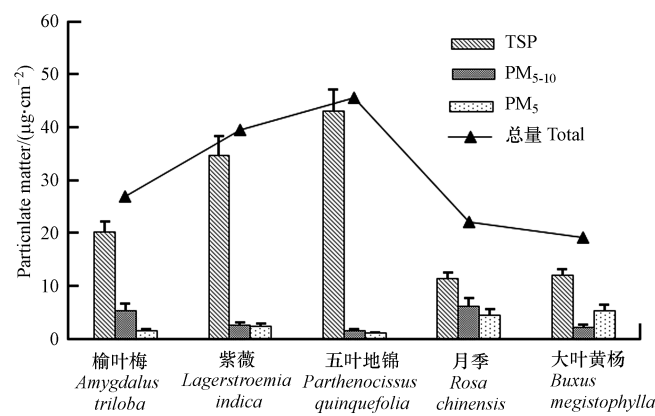


图 1 不同植物单位叶面积叶片对不同粒径颗粒物的滞留量
Fig.1 Accumulation of different size particulates per unit leaf area by different plants

2.2 不同植物叶片上的颗粒物及水溶性离子组分

SONG 等^[21]的研究结果表明,研究地区属道路交通环境,颗粒物主要来源于扬尘、汽车尾气、人类活动和生物质燃烧,颗粒物的主要组成成分为硫酸盐、硝酸盐、氯化物、有机碳和无机碳、硅及铁、铝、砷等.因此,在本研究中测定了总颗粒物(包括 TSP、 PM_{5-10} 、 PM_5)和水溶性离子硫酸盐、硝酸盐、氯化物、有机碳和无机碳以及硅,每个植物测定 3 个重复样.结果表明,5 种植物滞留的颗粒物的水溶性粒子主要组分为有机碳 (34.24%)、无机碳 (33.45%)、硅 (15.43%)、硫酸盐 (14.18%)、氯化物 (11.75%)、硝酸盐 (1.45%)(表 2).

单因素方差分析表明,不同植物叶片上沉积粒子的量在 0.05 水平上有显著差异.五叶地锦中的无机碳含量显著大于其他 4 种 ($P<0.05$),月季和紫薇中的有机碳含量显著大于其他 3 种植物 ($P<0.05$),紫薇中的氯化物显著大于其他 4 种 ($P<0.05$),与张莉^[22]的研究结果相似.每种植物中离子组分的总量大小顺序为:紫薇>五叶地锦>大叶黄杨>月季>榆叶梅.

2.3 植物特性与叶表特征对阻滞颗粒物能力的影响

不同植物对颗粒物阻滞能力不同受植物特性和叶表面结构影响^[23].由分析可知,滞留 TSP 的能力大小顺序为:五叶地锦>紫薇>榆叶梅>月季>大叶黄杨.滞留 PM_{5-10} 的能力大小顺序为:月季>榆叶梅>紫薇>大叶黄杨>五叶地锦.滞留 PM_5 的能力大小顺序为:大叶黄杨>月季>紫薇>榆叶梅>五叶地锦.从植物特性来说(表 3),五叶地锦对 TSP 的阻滞能力比较强,与其叶面积大,对大颗粒物的拦截作用明显有关.

表 2 颗粒物中离子含量
Table 2 Ion content of particulate matter

植物 (n = 15) Plant	硫酸盐 Sulphate		氯化物 Chloride		硝酸盐 Nitrate	
	含量 Content/ ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)	百分比 PCT	含量 Content/ ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)	百分比 PCT	含量 Content/ ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)	百分比 PCT
榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i>	0.5604	14.47%±0.1% ^b	0.3492	9.02%±0.5% ^e	0.056	1.45%±0.32% ^b
紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	1.1323	14.20%±0.21% ^c	1.3538	16.98%±1.1% ^a	0.1313	1.65%±0.21% ^a
五叶地锦 <i>Parthenocissus quinquefolia</i>	0.8562	10.98%±3.12% ^d	0.6321	8.10%±2.2% ^d	0.1031	1.32%±0.34% ^d
月季 <i>Rosa chinensis</i>	ND.	ND.	0.4697	ND.	0.0571	1.39%±0.45% ^c
大叶黄杨 <i>Buxus megistophylla</i>	1.0904	17.07%±4.0% ^a	0.8442	13.21%±1.6% ^b	0.0915	1.43% ^b
平均值 Mean	0.9098	14.18%	0.7298	11.75%	0.0878	1.45%

植物 (n = 15) Plant	有机碳 Organic carbon		无机碳 Inorganic carbon		全硅 Silicon	
	含量 Content/ ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)	百分比 PCT	含量 Content/ ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)	百分比 PCT	含量 Content/ ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)	百分比 PCT
榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i>	1.1639	30.06%±1.0% ^c	1.2501	32.28%±2.1% ^e	0.4311	11.13%±0.12% ^e
紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	2.6256	32.93%±0.56% ^b	1.559	19.55%±0.21% ^e	1.1487	14.41%±0.51% ^b
五叶地锦 <i>Parthenocissus quinquefolia</i>	1.3896	17.82%±0.89% ^e	3.7206	47.71%±0.32% ^a	0.8965	11.50%±0.63% ^d
月季 <i>Rosa chinensis</i>	2.6256	63.96%±0.95% ^a	1.559	37.98%±0.45% ^b	1.1487	27.98%±0.46% ^a
大叶黄杨 <i>Buxus megistophylla</i>	1.6884	26.43%±1.2% ^d	1.8994	29.73%±0.23% ^d	0.7738	12.11%±1.0% ^c
平均值 Mean	1.8986	34.24%	1.9976	33.45%	0.8798	15.43%

注：ND 表示未检出.ND., not detected.

由图 2 可知,5 种植物的叶片经过以上实验处理,叶表大颗粒物几乎全部被洗去,细颗粒物有少量附着,说明该实验方法有一定的可行性.刘玲等^[13]研究表明,叶片面积小、叶表面凸凹不平、气孔密、气孔口大的树木主要阻滞细颗粒物;而叶片面积大,表皮毛多的树木主要阻滞粗颗粒物.王会霞等^[24]研究表明,叶表面的褶皱及其形态、分布特征对阻滞颗粒物的能力具有重要影响.叶表沟状组织可以通过增加叶表粗糙度来增强滞尘能力,沟壑较窄的叶片适合阻滞粒径较小的颗粒物^[25].叶表粗糙、有较深的不规则网格等特征的植物滞尘能力较高,叶表平滑或叶表网格结构规则且较浅时滞尘能力较低^[26].从叶表面粗糙度来看(表 3),月季与大叶黄杨叶表面较光滑,榆叶梅叶表面凹凸不平,而紫薇与五叶地锦叶表面有褶皱和密布的沟状组织,五叶地锦的褶皱宽度稍大于紫薇,5 种植物均未发现有明显的毛被;从气孔特征来看,5 种植物气孔密度大小顺序为:大叶黄杨>紫薇>榆叶梅>五叶地锦>月季,其中大叶黄杨的气孔最大最明显.

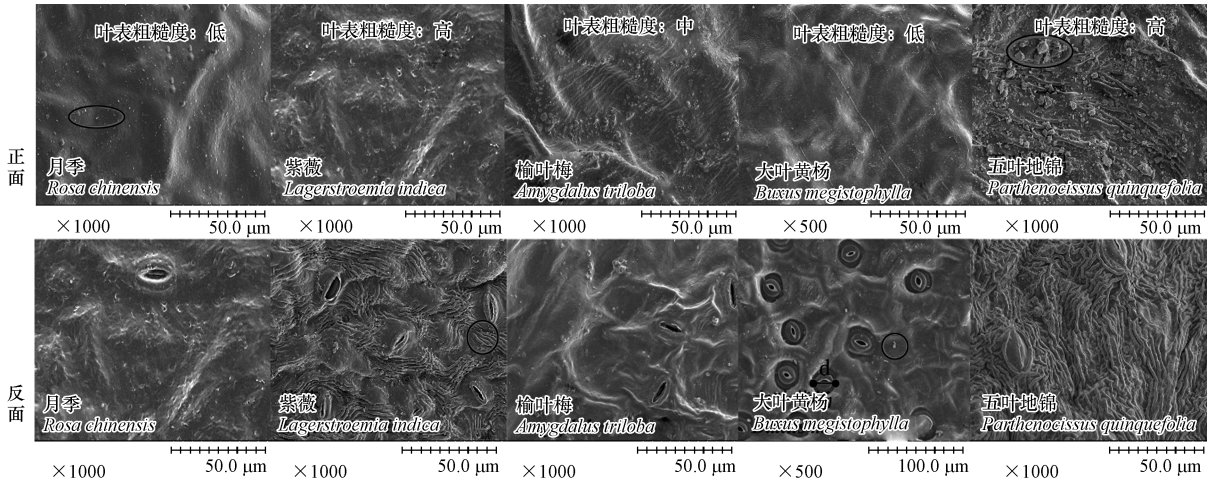


图 2 5 种植物的扫描电镜图
Fig.2 Scanning electron micrographs of the five plants

粗糙的叶表面增强紫薇与五叶地锦的滞尘能力,与李海梅等^[27]的研究结果一致.谢滨泽等^[28]研究表明,叶表面沟槽宽度的不同可能是不同植物滞留颗粒物差异的主要原因,沟槽宽度过宽和过窄均不利于叶片捕集颗粒物,沟槽宽度影响滞留颗粒物的粒径且沟槽深度越大越有利于滞留颗粒物,五叶地锦叶表面的褶皱宽度大,因此对 TSP 的吸附能力较强,而紫薇叶表面的褶皱宽度小,主要富集粒径较小的颗粒物.而月季、榆叶梅和大叶黄杨叶表较光滑,滞尘能力较弱.较多的气孔数量增强大叶黄杨的滞尘能力,研究表明,大叶黄杨叶表面滞留颗粒物的数量较多,显著高于月季表面滞留的颗粒物数量^[29];大叶黄杨叶背面气孔密度大,蒸腾作用强烈,使部分亲水性颗粒物吸湿并附着在叶表面气孔附近;气孔密度更大的叶片有利于滞留 PM₁₀^[30],这与大叶黄杨主要吸附 PM₅的结果一致.

表 3 叶表面特征分析
Table 3 Analysis on characteristics of leaf surface

植物 Plant	叶表粗糙度 Roughness of leaf surface	叶表面叶毛 Leaf hair on surface/ mm ⁻²	叶背面叶毛 Leaf hair in back/mm ⁻²	叶毛总和 Leaf hair in total/mm ⁻²	气孔数量 Stoma quantity/ (个/mm ⁻²)	气孔大小 Stoma size/μm
大叶黄杨 <i>Buxus megistophylla</i>	低	0	0	0	48.27±2.67	21.67±1.7
榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i>	中	0	8.67±1.82	8.67±1.82	37.21±3.18	12.67±1.59
紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	高	0	2.02±0.96	2.02±0.96	45.36±3.02	10.12±0.86
月季 <i>Rosa chinensis</i>	低	0	0	0	10.78±0.75	14.18±2.08
五叶地锦 <i>Parthenocissus quinquefolia</i>	高	0	0	0	22.54±2.57	16.27±1.18

2.4 不同植物滞尘量的时间变化特征

图 3 为 5 次重复实验中不同植物叶片滞留颗粒物(TSP、PM₅₋₁₀、PM₅)变化过程.由图 3 可知,5 种植物叶片上 TSP、PM₅₋₁₀、PM₅的滞留量总体上均呈递增趋势.对 TSP 来说(图 3(a)),5 种植物的叶片滞尘量均在第 4 次实验(7 月中旬)时降低,这与 2014 年 7 月初的强降雨有关,降雨能洗刷叶片上的颗粒物,特别是大颗粒物.五叶地锦、紫薇、榆叶梅、月季和大叶黄杨分别降低了 50.79%、53.90%、41.43%、29.08%、28.93%,紫薇的降幅最大.与 TSP 不同的是,PM₅₋₁₀和 PM₅在 5 种植物叶片上的沉积量持续增加,在强降雨的影响下也未表现出降低的趋势,这与 PM₅₋₁₀和 PM₅粒径小,一般附着在叶表或沉积在叶片的沟槽中,不易被降雨冲刷有关.

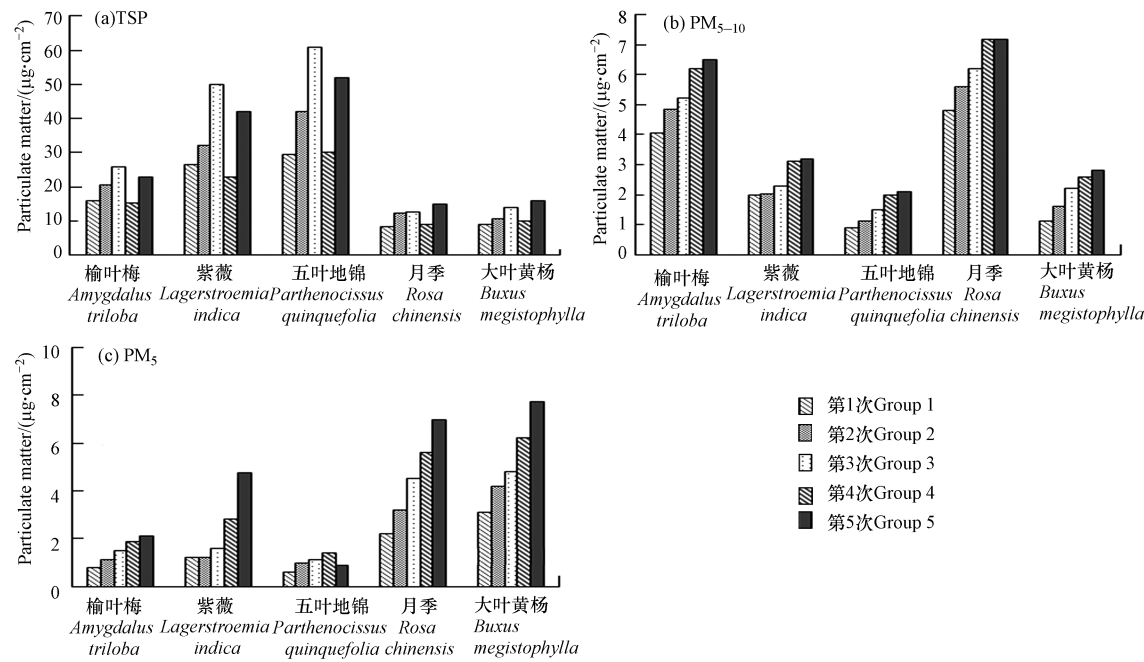


图 3 不同植物叶片滞留颗粒物(TSP、PM₅₋₁₀、PM₅)时间变化

Fig.3 Temporal characteristic of particulate matters stranded on different tree leaves (TSP , PM₅₋₁₀ , PM₅)

3 结论 (Conclusion)

研究对北京市 5 种典型植物的滞尘能力进行了测定,并从植物叶表面结构特征等方面分析滞尘能力差异原因,基于离子色谱法等对总颗粒物(TSP、PM₅₋₁₀、PM₅)的组分进行分析,以期为北京市绿化建设提供参考.得出结论如下:

(1)不同植物叶片阻滞颗粒物总量的能力大小顺序依次为:五叶地锦>紫薇>榆叶梅>月季>大叶黄杨;滞留 TSP 的能力大小顺序为:五叶地锦>紫薇>榆叶梅>月季>大叶黄杨;滞留 PM₅₋₁₀的能力大小顺序为:月季>榆叶梅>紫薇>大叶黄杨>五叶地锦;滞留 PM₅的能力大小顺序为:大叶黄杨>月季>紫薇>榆叶梅>五叶地锦.

(2)叶片上颗粒物主要的水溶性粒子组分为:有机碳(34.24%)、无机碳(33.45%)、硅(15.43%)、硫酸盐(14.18%)、氯化物(11.75%)、硝酸盐(1.45%),表现出道路环境特征和二次污染特征.离子组分的总量大小顺序为:紫薇>五叶地锦>大叶黄杨>月季>榆叶梅.

(3)叶表沟槽密度影响滞留颗粒物的粒径,沟槽密度大则滞留颗粒物粒径大,沟槽密度小则滞留颗粒物粒径小;气孔密度大的植物滞留细颗粒物的能力较强.

(4)在研究期间内,5 种植物叶片上的颗粒物滞留量呈增加趋势.TSP 受降雨冲刷作用明显,而 PM₅₋₁₀和 PM₅在强降雨的影响下也未表现出降低的趋势,在叶面上的沉积量逐渐增加.

参考文献 (References)

[1] 陈仁杰, 陈秉衡, 阚海东. 我国 113 个城市大气颗粒物污染的健康经济学评价[J]. 中国环境科学, 2010, 30(3): 410-415.
CHEN R J, CHEN B H, KAN H D. A health-based economic assessment of particulate air pollution in 113 Chinese cities[J]. China Environmental Science, 2010, 30(3): 410-415 (in Chinese).

[2] HINDS W C. Aerosol technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles[M]. John Wiley & Sons, 2012.

[3] HUEGLIN C, GEHRIG R, BALTENSPERGER U, et al. Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(4): 637-651.

[4] 董婷, 李天昕, 赵秀阁, 等. 某焦化厂周边大气 PM₁₀重金属来源及健康风险评估[J]. 环境科学, 2014, 35(4): 1228-1244.
DONG T, LI T X, ZHAO X G, et al. Source and health risk assessment of heavy metals in ambient air PM₁₀ from one coking plant[J]. Environmental Science, 2014, 35(4): 1238-1244(in Chinese).

[5] 王秦, 陈曦, 何公理, 等. 北京市城区冬季雾霾天气 PM_{2.5}中元素特征研究[J]. 光谱学与光谱析, 2013, 33(6): 1441-1445.
WANG Q, CHEN X, HE G L, et al. Study on characteristics of elements in PM_{2.5} during haze-fog weather in winter in urban Beijing[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013, 33(6): 1441-1445(in Chinese).

[6] 杨仪方, 钱枫, 张慧峰, 等. 北京市交通干线周围可吸入大气颗粒物的污染特性[J]. 中国环境科学, 2010, 30(7): 962-966.
YANG Y F, QIAN F, ZHANG H F, et al. Characteristics and source apportionment of PM₁₀ at urban traffic trunk roads and surrounding areas in Beijing[J]. China Environmental Science, 2010, 30(7): 962-966(in Chinese).

[7] OTTELE M, van BOHEMEN H D, FRAAIJ A L A, et al. Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls [J]. Ecological Engineering, 2010, 36(2): 154-162.

[8] BECKETT K P, FREER SMITH P H, et al. Effective tree species for local air quality management[J]. Journal of Arboriculture, 2000, 26(1): 12-19.

[9] NOWAK D J, HIRABAYASHI S, BODINE A, et al. Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten US cities and associated health effects[J]. Environmental Pollution, 2013, 178: 395-402.

[10] POPEK R, GAWRONSKA H, WROCHNA M, et al. Particulate matter on foliage of 13 woody species: Deposition on surfaces and phytostabilisation in waxes-a 3-year study[J]. International Journal of Phytoremediation, 2013, 15(3): 245-256.

[11] SÆBØ A, POPEK R, NAWROT B. Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces[J]. Science of the Total Environment, 2012, 427: 347-354.

[12] 刘璐, 管东生, 陈永勤, 等. 广州市常见行道植被叶片表面形态与滞尘能力[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2604-2614.
LIU L, GUAN D S, CHEN Y Q, et al. Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2604-2614(in Chinese).

[13] 刘玲, 方炎明, 王顺昌, 等. 7 种树木的叶片微形态与空气悬浮颗粒吸附及重金属累积特征[J]. 环境科学, 2013, 34(6): 2361-2367.
LIU L, FANG Y M, WANG S C, et al. Leaf micro-morphology and features in adsorbing air suspended particulate matter and accumulating

- heavy metals in seven tress species[J]. Environmental Science, 2013, 34(6): 2361-2367(in Chinese).
- [14] DZIERZANOWSKI K, POPEK R, GAWRO N 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): 1037-1046.
- [15] 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.
WANG B, ZHANG W K, NIU X, et al. Particulate matter adsorption capacity of 10 evergreen species in Beijing[J]. Environmental Science, 2015, 36(2): 408-414(in Chinese).
- [16] SGRIGNA G, SÆBØ A, GAWRONSKI S, et al. Particulate matter deposition on *Quercus ilex* leaves in an industrial city of central Italy [J]. Environmental Pollution, 2015, 197: 187-194.
- [17] 王蕾, 哈斯, 刘连友, 等. 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[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 998-1002.
WANG L, HA S, LIU L Y, et al. Effects of weather condition in spring on particulates density on conifers leaves in Beijing[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(8): 998-1002(in Chinese).
- [18] 邓利群, 钱骏, 廖瑞雪, 等. 2009 年 8—9 月成都市颗粒物污染及其与气象条件的关系[J]. 中国环境科学, 2012, 32(8): 1433-1438.
DENG L Q, QIAN J, LIAO R X, et al. Pollution characteristics of atmospheric particulates in Chengdu from August to September in 2009 and their relationship with meteorological conditions[J]. China Environmental Science, 2012, 32(8): 1433-1438(in Chinese).
- [19] MORI J, SæBØ A, HANSLIN H M, et al. Deposition of traffic-related air pollutants on leaves of six evergreen shrub species during a Mediterranean summer season[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2015, 14(2): 264-273.
- [20] LIU L, GUAN D, PEART M R. The morphological structure of leaves and the dust-retaining capability of afforested plants in urban Guangzhou, South China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2012, 19(8): 3440-3449.
- [21] SONG Y, MAHER B A, LI F, et al. Particulate matter deposited on leaf of five evergreen species in Beijing, China: Source identification and size distribution[J]. Atmospheric Environment, 2015, 105: 53-60.
- [22] 张莉. 南京常见道路绿化树种的环境效益研究[D]. 南京: 南京林业大学学位论文, 2007.
ZHANG L. Study on environmental effect of common road afforestation trees in Nanjing[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2007(in Chinese).
- [23] 余曼, 汪正祥, 雷耘, 等. 武汉市主要绿化树种滞尘效应研究[J]. 环境工程学报, 2009, 3(7): 1333-1339.
YU M, WANG Z X, LEI Y, et al. Study on dust detaining effect of major species of greening trees in Wuhan[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 3(7): 1333-1339(in Chinese).
- [24] 王会霞, 石辉, 李秧秧. 城市绿化植物叶片表面特征对滞尘能力的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(12): 3077-3082.
WANG H X, SHI H, LI Y Y. Relationships between leaf surface characteristics and dust-capturing capability of urban greening plant species[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(12): 3077-3082(in Chinese).
- [25] 陈小平, 焦奕雯, 裴婷婷, 等. 园林植物吸附细颗粒物(PM_{2.5})效应研究进展[J]. 生态学杂志, 2014, 33(9): 2558-2566.
CHEN X P, JIAO Y W, PEI T T, et al. The effect of adsorbing fine particulate matter (PM_{2.5}) by garden plants: A review[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(9): 2558-2566(in Chinese).
- [26] 贾彦, 吴超, 董春芳, 等. 7 种绿化植物滞尘的微观测定[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2012, 43(11): 4547-4553.
JIA Y, WU C, DONG C F, et al. Measurement on ability of dust removal of seven green plants at micro-conditions[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2012, 43(11): 4547-4553(in Chinese).
- [27] 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.
LI H M, LIU X. Relationships between leaf epidermal morphology and dust-retaining capability of main garden trees in Chengyang District of Qingdao City[J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(10): 1659-1662(in Chinese).
- [28] 谢滨泽, 王会霞, 杨佳, 等. 北京常见阔叶绿化植物滞留 PM_{2.5}能力与叶面微结构的关系[J]. 西北植物学报, 2014, 34(12): 2432-2438.
XIE B Z, WANG H X, YANG J, et al. Retention capability of PM_{2.5} and it's explanation by leaf surface micro-structure of common broad-leaved plant species in Beijing[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2014, 34(12): 2432-2438(in Chinese).
- [29] 赵松婷, 李新宇, 李延明. 园林植物滞留不同粒径大气颗粒物的特征及规律[J]. 生态环境学报, 2014, 23(2): 271-276.
ZHAO S T, LI X Y, LI Y M. The characteristics of deposition of airborne particulate matters with different size on certain plants [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(2): 271-276(in Chinese).
- [30] 杨佳, 王会霞, 谢滨泽, 等. 北京 9 个树种叶片滞尘量及叶面微形态解释[J]. 环境科学研究, 2015, 28(3): 384-392.
YANG J, WANG H X, XIE B Z, et al. Accumulation of particulate matter on leaves of nine urban greening plant species with different micromorphological structures in Beijing[J]. Research of Environmental Sciences, 2015, 28(3): 384-392(in Chinese).