

民勤植物园3种灌木的叶面微结构及其滞尘能力研究

刘开琳¹,李学敏^{1,2},万翔¹,刘淑娟¹,李菁菁¹,徐先英^{1,2},刘虎俊¹

(¹甘肃省治沙研究所,兰州 730070;

²甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室培育基地,兰州 730070)

摘要:粉尘已成为中国北方空气中的主要污染物之一,植物可吸附和截留大气中的粉尘,对其滞尘能力的研究可为绿化树种选择与配置提供参考。本研究观测蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)、山桃(*A. davidiana*)和中华钙果(*Cerasus humilis*)的叶形状,用面积仪测定面积、周长、长、宽,用电子显微镜观测叶面附属物及微结构;采用“收集-清洗-过滤-称重”的方法收集叶面滞留的粉尘;比较分析叶的形状、大小及其微结构与其滞尘量的关系。结果表明:蒙古扁桃滞留小于10 μm的颗粒物能力相对较强,中华钙果滞留粒径大于10 μm(PM10)能力相对较大。叶的单位面积滞尘量是蒙古扁桃>中华钙果>山桃。叶面微结构影响叶面滞留粉尘的能力,粉尘主要滞留在叶毛周围,镶嵌在叶面沟状结构和气孔之间。单位叶面积滞尘量与叶面积、叶周长、叶宽、叶长成负相关关系,与叶宽/叶长之比值成正相关关系,其中叶面积和叶长对滞尘量影响较大。

关键词:叶形态;叶面微结构;叶面积;粉尘;滞尘能力

中图分类号:S3

文献标志码:A

论文编号:casb2020-0035

Study on the Leaf Microstructure and Dust Retention Ability of 3 Plants in Minqin Botanical Garden

Liu Kailin¹, Li Xuemin^{1,2}, Wan Xiang¹, Liu Shujuan¹, Li Jingjing¹, Xu Xianying^{1,2}, Liu Hujun¹

(¹Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070;

²State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Lanzhou 730070)

Abstract: The dust has become one of the main air pollutants in north China. Plants can absorb and retain the dust in the atmosphere, and the study on dust retention capacity of plant could provide references for the selection and configuration of greening tree species. In this study, the leaf shape of *Amygdalus Mongolia*, *A. davidiana* and *Cerasus humilis* were observed, the leaf area, perimeter, length and width were measured by platometer, and leaf appendages and microstructure were observed by electron microscope. The dust detained on the leaf surface was collected by the method of “collection– cleaning– filtration– weighing” and the relationship among the leaf shape, size, microstructure and dust retention amount were compared and analyzed. The results showed that the capacity of *Amygdalus Mongolia* to retain the particles less than 10 μm was relatively strong, and the capacity of *Cerasus humilis* to retain the particles larger than 10 μm (PM10) was relatively big. The dust retention per unit area of leaf was *Amygdalus Mongolia* > *Cerasus humilis* > *A. davidiana*. The microstructure of leaf affected the capacity of dust retention on the leaf, and the dust was mainly around the hair of leaf, or inlayed in the groove and stomata on the leaf. The dust retention amount of per unit leaf area was negatively correlated with leaf area, perimeter, width and length, and positively correlated with the

基金项目:甘肃省林业和草原局项目“低覆盖度非均匀配置防风固沙林防护效益的风洞实验研究”(ky1428);甘肃省重大专项“风沙区精准治沙关键技术研究与示范”(18ZD2FA009)。

第一作者简介:刘开琳,男,1982年出生,甘肃民勤人,工程师,硕士,主要从事荒漠生态研究。通信地址:730070甘肃省兰州市安宁区北滨河西路390号甘肃省治沙研究所,E-mail:gscourse@163.com。

通讯作者:万翔,女,1988年出生,甘肃景泰人,助理研究员,硕士,主要从事荒漠生态研究。通信地址:730070甘肃省兰州市安宁区北滨河西路390号甘肃省治沙研究所,E-mail:1659867375@qq.com。

收稿日期:2020-04-23,修回日期:2020-06-28。

ratio of leaf width to leaf length, among which leaf area and leaf length had a greater impact on the dust retention amount.

Keywords: leaf shape; leaf microstructure; leaf area; dust; dust retention capacity

0 引言

粉尘是重要空气组成物,也粘有细菌和病毒等,对人体健康具有极大的威胁^[1]。大量环境流行病学研究表明,死亡率、缺血性心脏病及肺癌等疾病的发生与空气中细颗粒物(小于2.5 μm的颗粒物)浓度之间有显著的因果关系^[2]。粉尘已成为我国北方空气中的主要污染物之一,威胁着人们的健康。如何减少粉尘及其带来的危害已成为环境治理的重要内容。植物叶因其表面积及其附属物可以截取和固定粉尘,成为环境污染的重要过滤体。但是,不同种类植物叶的滞尘效应各有差异^[3]。叶的形态及其附属物影响滞尘效应研究是植物生态效益研究的重要内容,也是城市绿化选择树种的重要指标^[4-5]。因此,研究植物叶滞尘效应对环境改善的作用具有重要意义。有研究发现,在城市人口密集区域,种植绿化植被可吸附、捕获空气中的污染物^[4]。树木能够吸附和过滤灰尘,使空气中灰尘减少,净化空气,植物种类或植物群落滞尘效益成为此方面的重要研究内容^[6]。植物滞尘能力取决于其叶的形态与结构^[4-5]。叶形态包括其面积、周长、长宽以及厚度等^[7]。叶表面结构包括粗糙不平和多绒毛、有油脂及黏性物质,能够吸附、滞留一部分粉尘,从而使得大气含尘量降低^[8],叶面微结构也是影响植物滞尘能力重要因素^[9-10]。叶面绒毛是植物体表的一种附属结构,有利于颗粒物的附着,绒毛在叶片微形态结构中滞留大气颗粒物能力较高^[11]。同时也对植物叶片滞留颗粒物特性进行了研究,分析了植物滞尘机理及其效能影响因素^[12-13]。国内外已经广泛开展了植物叶滞尘能力的研究,但主要集中于绿化树种吸附粉尘作用及其相关性等方面,也对叶的滞留物特性^[14]进行了观测研究,确定了不同植物的滞尘能力及影响因素^[15-16]。但是系统研究同科不同种植物叶结构的滞尘效应的研究较少。本文以蔷薇科(Rosaceae)植物为研究对象,选择2种叶表面光滑的灌木蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)、山桃(*A. davidiana*)和叶表面粗糙的中华钙果(*Cerasus humilis*)。测定参试植物叶的形状、面积和长宽,同时观测叶面显微结构,收集其滞留在叶表面的粉尘。在分析叶滞留颗粒物特性的基础上,比较分析3种植物叶的形态、大小,特别是叶面微结构与其滞尘量的关系,探讨其滞尘能力的大小,分析叶形态及其表面结构对植物滞尘的影响,为进一步探讨植物滞留大气颗粒

物的机理提供了参考,同时为我国北方生态建设树种选择与配置提供参考。

1 研究区自然概况

研究区位于民勤沙生植物园,地处巴丹吉林沙漠东南缘的民勤西沙窝,东经102°58',北纬38°34',四面环沙;属温带大陆性干旱气候区,风大沙多。在2019年气象因子观测值分别为:年均降水量132.7 mm,年均蒸发量1544.7 mm,年均气温8.2℃,年风沙日达25天,全年8个月有扬沙天气。研究区民勤县是中国四大沙尘暴发源地之一^[17]。观测当年(2019年)除2月和3月外,各月均有降水,沙尘天气集中在4~6月,降水量较大的月份为5~9月,占总降水量的79.8%(表1)。

2 研究方法

在民勤沙生植物园选择相同种植区的蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)、山桃(*A. davidiana*)、中华钙果(*Cerasus humilis*),在晴朗无风的10月底采样叶,用聚乙烯塑料袋装采集的叶片。各个采样点每个树种设置三个重复,每个树种采集3株,所选择的树种的生长良好。采样的位置为树冠外围中部东南西北4个方向上部枝条上的叶片,将叶片小心封存于塑料袋中,带回实验室处理叶面滞尘量。

2.1 叶形态及其微结构观测方法

2.1.1 叶的大小观测 从采集的每个样品叶中随机抽取叶片,用便携式叶面积仪(Xaxin-1241叶面积仪)测定叶片的叶面积(A)、周长、长度、宽度,共测定10片叶。

2.1.2 叶片形态及其微结构观察 在电子显微镜(TM4000 Plus电子显微镜)下观察参试植物叶的叶脉、叶缘和中肉部分,对视野内的叶的附属物及其他进行记录,共测定了3~5片叶。观测方法如下:叶片叶脉两侧切取边长约0.5 cm的小块,置于电子显微镜下观察拍照^[18]。

2.2 叶滞尘量的测定

目前,植物叶的滞尘量测定和分析尚无统一的标准方法,本次实验采用参考文献多数采用的“收集-清洗-过滤-称重”的方法,具体步骤如下。

(1)准备滤纸:取滤纸标上编号,置于万分之一天平上称重,并记录重量(W1)。

(2)清洗滞尘:将参试叶100~200片用蒸馏水+酒精的溶液中浸泡8 h,再将其放入超声波清洗器用蒸馏水进行彻底冲洗,用镊子夹住叶柄取出,并用蒸馏水冲

表1 民勤沙生植物园的2019年气象因子观测结果

月份	降水量/mm	平均气温/℃	平均风速/(m/s)	最大风速/(m/s)	沙尘暴日/d	扬沙日数/d	浮尘日数/d
1	6.5	-10.3	1.0	6.0	0	0	0
2	0.0	-5.5	1.3	8.0	0	1	0
3	0.0	3.0	1.6	8.0	0	2	0
4	4.8	13.4	1.3	13.0	1	3	3
5	30.1	15.2	1.7	10.0	1	2	3
6	17.2	21.6	1.6	10.0	0	2	1
7	13.3	23.1	1.4	10.5	0	0	2
8	19.6	21.5	1.0	7.0	0	2	0
9	25.7	17.1	0.8	6.0	0	0	0
10	13.0	7.2	1.4	9.0	0	1	0
11	1.8	-0.4	0.7	7.0	0	1	0
12	0.7	-6.9	0.9	8.0	0	0	0
合计/平均	132.7	8.2	0.9	8.0	2	14	9

洗三次,得到含滞尘的浸洗液。

(3)过滤滞尘:浸洗液用已烘干称重W1的滤纸过滤,再将滤纸置于60℃下烘干8h,烘干至恒重后冷却称重(W2)。

(4)滞尘的粒径级测定:称取收集的尘样加30%过氧化氢,在72℃下去除有机质,加盐酸去除碳酸盐,超声30s后用英国马尔文MS2000激光粒度仪测定土壤粒径的质量百分比。

2.3 数据处理与分析

2.3.1 数据处理 根据上述所观测叶面积、形态和表面附属物,分析比较3种灌木叶结构与其滞尘量关系,应用excel软件进行数据分析。

2.3.2 滞尘量的计算 将上述2.2测试过程2次称量的滤纸的重量差(W2-W1)作为样品吸附颗粒物的重量,也就是叶的滞尘总重^[4]。最后,根据叶面积(A)计算单位面积滞尘量Q(mg/cm²),见公式(1)。

$$Q = \frac{W1 - W2}{A} \dots\dots\dots (1)$$

3 结果与分析

3.1 灌木叶面滞尘量及其粒径特征研究

3.1.1 灌木叶面滞尘量 叶的滞尘量有以单位面积叶的滞尘量(mg/cm²),也有单叶滞尘量(mg)表示法。不同计量单位表示植物叶面滞尘量之间存在差异。为了全面说明叶滞尘能力,分别采用单位面积叶的滞尘量和单叶的滞尘量比较所观测的3种沙河灌木的滞尘能力(图1)。被观测的3种灌木的单位面积的叶滞尘量是由大到小顺序为:蒙古扁桃>中华钙果>山桃。蒙古扁

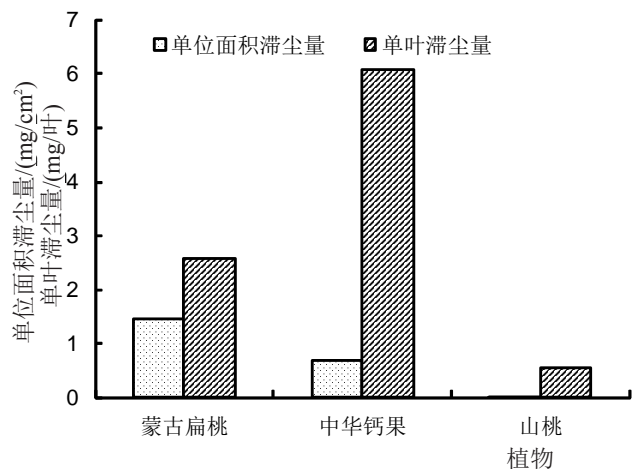


图1 参试3种灌木叶的单位面积滞尘量和单叶滞尘量

桃的叶滞尘量是中华钙果的2.1倍,是山桃的41.4倍,中华钙果的叶滞尘量是山桃的20.1倍。

以单叶滞尘量来计算,滞尘量的大小顺序为中华钙果>蒙古扁桃>山桃。单叶最大滞尘量10.02mg是最小滞尘量的21.8倍。中华钙果的单叶滞尘量为6.08mg,是蒙古扁桃的2.37倍,是山桃单叶滞尘量11.3倍。

3.1.2 灌木滞尘的粒径特征 3种灌木的叶面滞尘粒径变率最大的是小于2.5μm尘粒,其次是2.5~10μm的细粉粒,变化最小的是大于10μm的粗粉粒。蒙古扁桃的叶滞尘的粉粒含量只占了66.73%,其它树种所含粉粒比例都大于80%。3种灌木的叶面滞尘粒径介于PM2.5和PM10的所含比例较大的是蒙古扁桃

(26.88%)。从观测结果(表2)可以看出,蒙古扁桃滞留小于10 μm 的颗粒物能力较强,3种灌木叶滞留10~2000 μm 粒径颗粒的差异最小(变异系数4.50%),滞留2.5~10 μm 粒径颗粒的差异最大(变异系数17.88%)。中华钙果滞留10~2000 μm 的颗粒物能力较强,滞留10~2000 μm 粒径颗粒物的树种的叶质较硬或有附属物。

3.2 滞尘量与叶形态的关系

3种灌木叶的叶面积、叶周长、叶长和叶宽与其滞尘量相关性较大(图2)。以单位叶面积为衡量标准,

则滞尘量与叶面积、叶周长、叶宽和叶长成负相关,与叶宽/叶长之比值成正相关(图2),其中叶面积与滞尘量负相关系数最大。如果以单叶滞尘量比较,则叶面积、叶周长、叶长、与滞尘量成负相关,叶宽和叶宽/叶长之比值成正相关(图2)。叶宽与叶长比值较大蒙古扁桃的滞尘量较大(表3)。

蒙古扁桃叶面积是中华钙果的20%,而其单位面积滞尘量相差2倍,蒙古扁桃和山桃叶面积相差8.7倍,二者的单位叶面积滞尘量相差41.4倍。中华钙果叶面积是山桃的56%,但其单叶滞尘量是山桃的11.3

表2 3种灌木叶滞尘的粒度特征

植物名	0.01~2.5/ μm	2.5~10/ μm	10~2000/ μm	滞尘量/(mg/cm^2)
蒙古扁桃	6.39	26.88	66.73	1.44
中华钙果	3.07	9.51	87.42	0.70
山桃	5.15	14.02	80.83	0.03

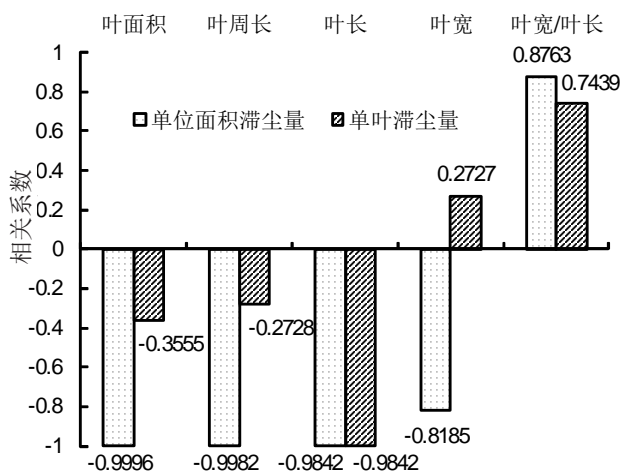


图2 单位面积滞尘量和单叶滞尘量与叶形指数的相关系数

倍。山桃叶长是中华钙果的50.7%,叶长与叶滞尘能力相关性较大。比较叶周长及其滞尘量关系,山桃的叶周长是中华钙果和蒙古扁桃的1.5倍和4.3倍,但单位叶面积和单叶滞尘量都较小,只是中华钙果和蒙古扁桃的4.9%和2.4%。

蒙古扁桃的叶宽约为中华钙果和山桃的1/2,但其单位叶面积滞尘量是中华钙果和山桃的2.1倍和41.4倍。蒙古扁桃和山桃的叶表面较光滑,蒙古扁桃叶宽与叶长的比值较大,与单位叶滞尘量和单叶滞尘量都和叶宽与叶长的比值成正比,叶的滞尘量能力受叶宽影响。

3.3 叶面微结构及其滞尘

本研究所观测3种灌木的单位叶面积滞尘量与其形态指数成负相关,但其单叶滞尘量又与其叶宽成正相关,中华钙果和蒙古扁桃的叶面积和叶长都小于山桃,而山桃的滞尘量最小,这说明还有其他因素影响叶的滞尘量。中华钙果叶表面披毛,蒙古扁桃叶面具有蜡质层,且叶表面细胞上有沟状组织,叶面微结构影响叶的滞尘能力。显微扫描可看到蒙古扁桃的气孔聚集分布,在气孔和其他组织过渡区粉尘聚集,气孔周围或气孔中也有粉尘^[17]。叶表面有明显的凹凸不平的平行沟状结构,粉尘镶嵌在水平沟之中(图3)。

中华钙果叶表面有短硬毛,粉尘聚集在硬毛周围,或聚集在硬毛与其他结构结的过渡区。叶表面结

表3 3种灌木的叶形态指数值与滞尘量

序号	树种	叶面积/ mm^2	周长/ mm	叶长/ mm	叶宽/ mm	叶宽/叶长比值	叶形	单位面积与单叶滞尘量	
								mg/cm^2	$\text{mg}/\text{叶}$
1	蒙古扁桃	178.04	45.28	19.67	12.67	0.64	宽椭圆形	1.44	2.56
2	中华钙果	871.11	130.65	46.51	28.97	0.62	长圆形	0.70	6.08
3	山桃	1552.06	192.44	91.67	26.83	0.29	卵状披针形	0.03	0.54
变异系数/%		68.64	45.12	46.07	41.44	25.99		69.42	90.50

构呈网状凹凸结构,粉尘镶嵌在凹坑(图4)。

山桃的气孔也比较明显,叶面也有平等沟状结构,粉尘镶嵌在叶面沟状结构和气孔之间。

4 讨论

4.1 植物叶滞尘能力受叶形态及其表面结构影响

植物滞尘能力不仅与叶的面积、周长、长和宽以及质地相关^[3],也受植物叶表面微结构影响^[4]。研究表明叶表面积是影响植物滞尘量的一个重要因素,叶面积较大树种滞尘量的绝对量较大^[19]。以单叶滞尘量来计算,滞尘量的大小顺序为中华钙果>蒙古扁桃>山桃。叶面积则是山桃>中华钙果>蒙古扁桃。这与上述的

研究结论有相同之处也有不同点。这也说明影响叶滞尘量的叶形态不仅受叶面积影响,也受叶周长、叶宽、叶长等的影响^[20]。滞尘量与树冠总叶面积、枝干分枝角度、树冠形状等有关^[21-22]。本研究发现叶长对于单叶滞尘量的影响较大(相关系数-0.9842),从而影响叶的滞尘能力。影响滞尘量有研究表明单位叶面积吸附量不与叶面积成正相关^[1-2]。本研究调查分析的3种灌木单位叶面积滞尘量与叶面积、叶周长、叶宽、叶长成负相关关系。这与上述的研究结论一致,说明植物滞尘能力不仅取决于其叶的形态特别是叶面积和叶长与其滞尘量相关性较大,叶表面结构也是影响叶滞尘能

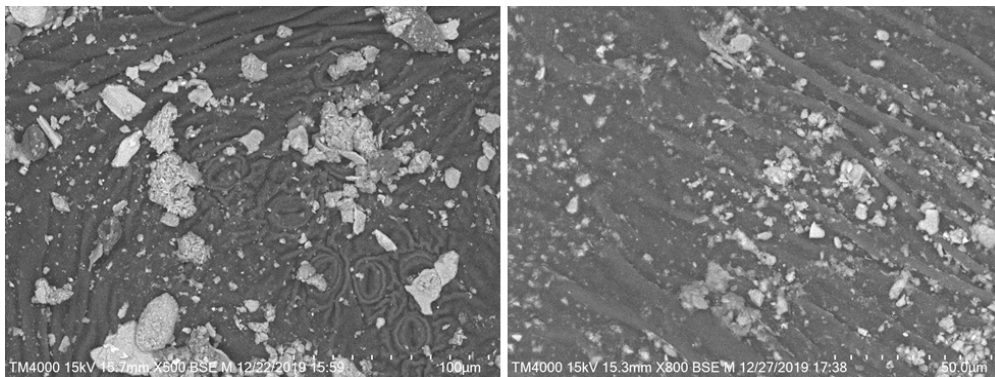


图3 蒙古扁桃叶表面显微结构及滞尘(白色)

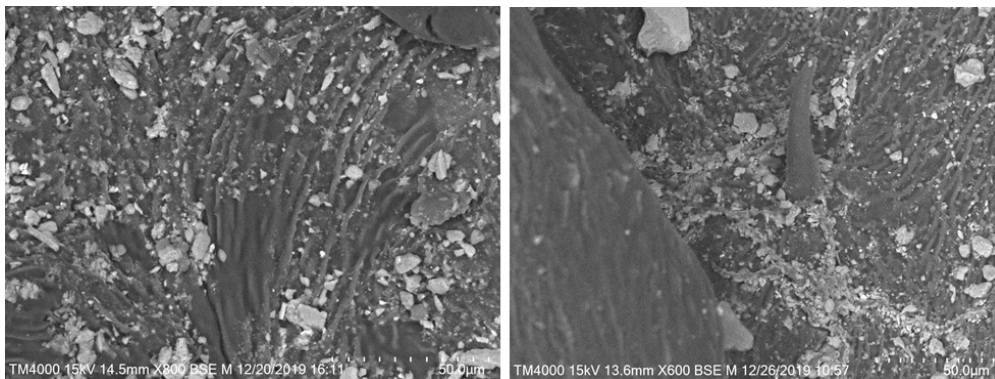


图4 中华钙果叶表面显微结构及滞尘(白色)

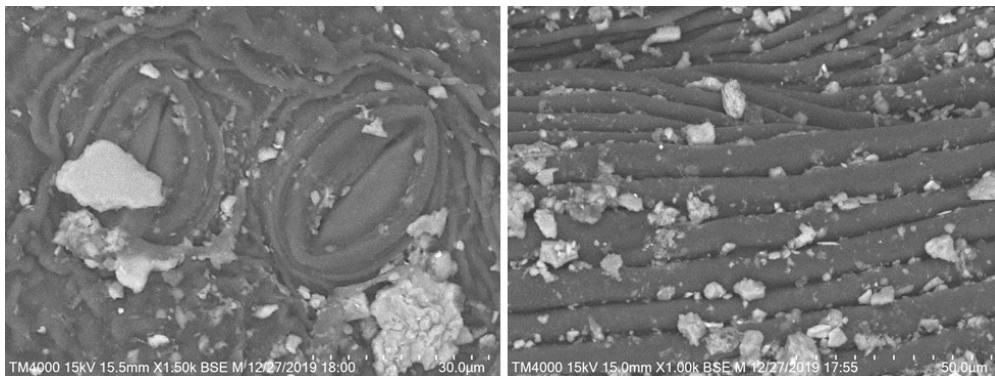


图5 山桃叶表面显微结构及滞尘(白色)

力的重要因素^[23-24],叶表面的粗糙不平和多绒毛,能够增大叶吸附、滞留粉尘,从而使大气含尘量降低^[1,24]。叶表面粗糙且披毛的中华钙果的单叶滞尘量也较大,滞尘保留在叶毛周围,也镶嵌在叶面沟状结构和气孔之间。叶表面越平滑,细胞越排列整齐,越不利于粉尘颗粒物的滞留^[8]。山桃的叶面较光滑,细胞排列也较整齐,滞尘量相对蒙古扁桃和中华钙果的较小。中华钙果叶表面上有纤毛,呈现出明显皱褶,它的滞尘能力最强。蒙古扁桃和山桃的叶面粉尘则镶嵌在叶表面的平行沟状结构和气孔周围。叶质地也直接影响着颗粒物在叶片表面的滞留能力^[6,25]。蒙古扁桃较中华钙果和山桃的质地较硬,滞尘量也相对较大。

4.2 叶滞尘特征受环境影响

植物叶的滞尘效益受多方面因素的影响,既有植物本身的内在因素,也有植物周围环境状况如风速、温度、湿度、降雨量等和尘源距离等因素都会对植物滞尘产生影响^[25-26]。不同绿化植物叶面滞尘量随季节变化而不同,不同植物叶面尘中滞留的颗粒物种类也不同^[27-28]。城市植物叶面尘中滞留的大多数是TSP(悬浮颗粒物),同时对PM10和PM2.5均有一定量的吸收^[29]。同种植物在不同环境下的滞尘能力不同^[2],滞留物与环境的空气颗粒一致^[30]。本实验所调查灌木的叶滞尘以大于10 μm的粗粉粒的比例较大,这与调查区域大气所含颗粒物一致。民勤沙尘暴之中的大气颗粒物直径大于10 μm(PM10)含量最大^[30]。

4.3 植物滞尘能力应该关系到周围环境

植物滞尘能力,不仅考虑植物本身的内在因素,也需要考虑环境因素,从而更全面的研究植物的滞尘能力及其机理。本文只观测和分析了3种灌木叶形及其微结构与滞尘量的关系,对于气候以及树体结构对于植物滞尘能力还有待进一步的观测与研究。

5 结论

调查3种灌木叶形态及滞尘量,以叶的单位面积滞尘量衡量其滞尘能力,蒙古扁桃>中华钙果>山桃。单位叶面积滞尘量与叶面积、叶周长、叶宽、叶长成负相关关系,与叶宽/叶长之比值成正相关关系,其中叶面积对滞尘量影响较大,其次为叶长。单叶滞尘量也与叶长的相关系数较大,其次为宽与叶长比成正相关。蒙古扁桃滞留小于10 μm的颗粒物能力较强,中华钙果滞留10~2000 μm的颗粒物能力较强。滞留较大粒径粉尘的树种的叶面有硬毛。叶面微结构影响叶面滞留粉尘的能力,粉尘主要滞留在叶毛周围,粉尘镶嵌在叶面沟状结构和气孔之间,不同结构的过渡区也滞留粉尘。

参考文献

- [1] 董雪玲. 大气可吸入颗粒物对环境和人体健康的危害[J]. 资源产业,2004,6(5):50-53.
- [2] 陈颖佳,刘中兵. 城市道路大气中粉尘浓度的时空变异及滞尘植物配置研究[J]. 湖北农业科学,2018,57(4):51-57.
- [3] Wedding J.B.,R.W. Carlson J. J. Stukel, F.A. Bazzaz. Aerosol deposition on plant leaves[J]. Environ. Sci. Tech, 1975,9:151-153.
- [4] 唐敏忠,汉瑞英,陈健. 植物叶片吸附大气颗粒物的研究综述[J]. 北方园艺,2015(11):187-192.
- [5] 郭伟,申屠雅瑾,郑述强,等. 城市绿地滞尘作用机理和规律的研究进展[J]. 生态环境学报,2010,19(6):1465-1470.
- [6] 胡舒,肖昕,贾含帅,等. 徐州市主要落叶绿化树种滞尘能力比较与分析[J]. 中国农学通报,2012,28(16):95-98.
- [7] 郭鑫,张秋良,唐力,等. 呼和浩特市几种常绿树种滞尘能力的研究[J]. 中国农学通报,2009,25(17):62-65.
- [8] 俞学如. 南京市主要绿化树种叶面滞尘特征及其与叶面结构的关系[D]. 南京:南京林业大学,2008.
- [9] 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.
- [10] 李艳梅,陈奇伯,王邵军,等. 昆明市主要绿化树种叶片滞尘能力的叶表微形态学解释[J]. 林业科学,2018,1,24(5):18-28.
- [11] 王会霞,石辉,王彦辉. 典型天气下植物叶面滞尘动态变化[J]. 生态学报,2015,35(6):1696-1705.
- [12] 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.
- [13] 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):2604-2614.
- [14] 刘玲,方志明,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.
- [15] Nowak D J, Crane D E, Stevens J C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the united states[J]. Urban Forestry & Urban Greening,2006,4:115-123.
- [16] Beckett K P, Freer smith P, Taylor G. Effective tree species for local air-quality management [J]. Journal of Arboriculture, 2000, 26 (1):12-19.
- [17] 康富贵,李耀辉. 2010年春季民勤沙地近地面沙尘气溶胶浓度特征[J]. 气象与环境学报,2010,26(6):6-12.
- [18] 孙同兴. 9种榆科植物叶表皮结构特征研究[J]. 亚热带植物科学, 2008(4):1-8.
- [19] 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.
- [20] 卢全. 主要绿化植物滞尘能力的研究-以泰州学院绿化建设为例[J]. 宿州教育学院学报,2013,16(6):178-180.
- [21] 纪惠芳,张立娟,阎海霞. 几种我国北方绿化树种滞尘能力的研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(25):10869-10871.
- [22] 康博文,刘建军,王得祥,等. 陕西20种主要绿化树种滞尘能力的研究[J]. 陕西林业科学,2003(4):54-56.
- [23] 张桐,洪秀玲,孙立炜,等. 6种植物叶片的滞尘能力与其叶面结构的关系[J]. 北京林业大学学报,2017.
- [24] 陆锡东,李萍娇,贺庆梅,等. 宜州城区5种行道树叶表面特征及滞尘效果比较[J]. 河池学院学报,2014,34(5):37-43.

-
- [25] 谢子瑞,赵锦慧,黄超. 武汉市公园绿化植物滞尘能力的初步研究[J]. 湖北大学学报,2018,40(4):424-428.
- [26] 刘欢欢. 基于超声清洗的北京5种乡土树种叶表面颗粒物滞纳特征研究[D]. 北京:北京林业大学,2017.
- [27] 杨丽. 兰州城区不同绿化植物滞尘效应分析[J]. 广东农业科学 2015,42(10):34-39.
- [28] 陈俊刚,余新晓,毕华兴,等. 典型森林树种对大气颗粒物湿沉降的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(4):312-317.
- [29] 王雅静,卓立环. 植物滞尘能力的研究进展[C]. 中国林学会树木学分会第十二届学术研讨会. 2006:55-58.
- [30] 段嵩岚,闫淑君,吴艳芳,等. 福州市11种绿化灌木春季滞留颗粒物效应研究[J]. 西南林业大学学报,2017,37(4):47-55.
- [31] 冯向东. 民勤近地面沙尘暴气溶胶变化规律初步研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2010.