

Overview of Dust-Retention Mechanism and Influencing Factors of Plant Leaves

Yingshi Song^{1*}, Jian Gao¹, Qian Shen¹, Xiaoke Wang², Xu Sun²

¹Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing

²State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing

Email: *keystone2006@163.com

Received: Apr. 28th, 2019; accepted: May 14th, 2019; published: May 22nd, 2019

Abstract

Plants are an important part of the urban ecological environment. They have a variety of ecological services in the city. Plants play an important role in adsorbing, fixing and transferring air particulate matter. In this paper, the classification of particulate matter on the surface of plant leaves, the mechanism of dust retention of plant leaves and the environmental factors affecting dust retention of plants are discussed. According to the location of particulate matter adsorbed on plant leaf surface, it can be divided into particulate matter in resin and particulate matter on leaf surface, and particulate matter can also be divided into fixed dust on leaf surface and flowing dust on leaf surface. Particulate matter in the air falls to the blade surface through the following four ways: deposition, diffusion, impact and interception. The characteristics of plant canopy structure and leaf surface have an important impact on plant dust retention. In addition, the concentration of ambient particulate matter also determines the amount of plant dust retention. Finally, the current research status and shortcomings are summarized, which has important reference significance for further research on plant dust retention.

Keywords

Plant, Dust retention, Mechanisms, Influencing Factors

植物叶片滞尘机制及影响因子研究综述

宋英石^{1*}, 高 健¹, 沈 茜¹, 王效科², 孙 旭²

¹中国环境科学研究院, 北京

²中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京

Email: *keystone2006@163.com

*通讯作者。

收稿日期：2019年4月28日；录用日期：2019年5月14日；发布日期：2019年5月22日

摘要

植物是城市生态环境的重要组成部分，在城市中具有多种生态服务功能，植物在吸附、固定和转移空气颗粒物方面发挥着巨大作用。本文从植物叶片表面颗粒物的分类，植物叶片的滞尘机理以及影响植物滞尘的环境因子三个方面进行阐述。根据植物叶表吸附的颗粒物存在的部位可分为树脂内颗粒物和叶表颗粒物，叶表颗粒物又分为叶表固定尘和叶表流动尘。空气中的颗粒物降落到叶片表面一般会通过以下四种方式，沉降、扩散、撞击和截留。植物的冠型结构和叶片表面的特性对植物滞尘有重要影响，另外环境颗粒物浓度也会决定植物滞尘量。最后总结了当前研究的现状和不足之处，对研究植物滞尘的进一步研究具有重要的参考意义。

关键词

植物，滞尘，机制，影响因子

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

绿地是城市生态系统不可或缺的重要组成部分，一般由乔木、灌木和草本植物构成。绿地在城市中具有多种生态服务功能，植物在吸附空气颗粒物，改善空气质量方面发挥着重要作用，对空气颗粒物同样有很好的吸附和净化作用[1] [2] [3] [4]。气态分子 SO_2 和 NO_x 可以伴随 CO_2 和 O_2 通过气孔进入叶片，经过转化形成硫酸盐和硝酸盐或吸收固定在植物器官上。甚至有些小粒径的颗粒物(小于 $0.1 \mu\text{m}$)可以穿过叶片的气孔，直接到达叶片内部[5]。但是大量的颗粒物会在植物叶片表面富集，被植物叶片固定下来。因此植物叶片可以看成汇集颗粒物的一个“汇”，在减少空气颗粒物方面发挥着重要作用。

2. 植物叶片表面颗粒物分类

根据植物叶表吸附的颗粒物存在的部位可分为树脂内颗粒物，叶表颗粒物。树脂内颗粒物是指封闭在叶片树脂内的颗粒物，该部分颗粒物被树脂固定，一般不会再返回到大气中。根据叶表颗粒物是否会被雨水冲下，又可以分为叶表固定尘和叶表流动尘。叶表固定尘是指存在于叶片表面，树脂层以外的颗粒物，虽然这一部分颗粒物没有固定在树脂层中，但是由于叶表本身的结构特征，例如叶片凹槽、叶脉以及绒毛周围，颗粒物在雨水冲刷的作用下也不容易离开叶片，我们也将该部分颗粒物视为叶片半永久性固定，称之为叶片固定尘。叶表流动尘是指叶片表面能被叶片表面吸附固定，不会随意返回到大气中，但在降水的作用下又可以被冲洗到土壤或者水体中的颗粒物。这一过程是空气颗粒物被叶片吸附后转移到土壤或者水体的一个重要过程。颗粒物在叶片表面不断累积，又被降雨不断冲洗到土壤中，因此叶表流动尘是一个不断累积变化的量，也是植物有效滞尘中重要的部分。

3. 植物滞尘机理

空气中的颗粒物降落到叶片表面一般会通过以下四种方式，沉降、扩散、撞击和截留。这四种方式

均与颗粒物粒径大小有直接关系。

1) 沉降

粒径比较大的颗粒物，在重量的作用下，会沉降在植物叶片表面，由于植物特殊的叶片结构和表面特征，颗粒物被固定在叶片表面，一般空气动力学直径在 $8\ \mu\text{m}$ 以上是，沉降作用最明显。Prusty *et al.* [5] 在研究城市道路绿化树种叶片吸附颗粒物作用时发现，受外界机动车尾气的影响，叶片表面的降尘量比较大。另外一片森林中，如果树冠郁闭度较高，林冠层较厚，则林冠层空气扰动较小，粒径较大的颗粒物容易沉降和滞留，但是对于林冠层空气扰动相对较大，叶片表面的颗粒物容易被风吹走，不容易滞留在灌木的叶片表面。

2) 扩散

扩散主要是指空气中的颗粒物尘埃悬浮在空气中，受到空气分子的不平衡撞击，不停地做不规则运动。正因为如此，空气的尘埃很难因为重力的作用而落到地面。当颗粒物与叶片结合，被叶片吸附，此类颗粒物一般粒径较小，一般小于 $2\ \mu\text{m}$ 。但是叶片特征对于吸附颗粒物有重要作用，例如叶片表面的树脂或者绒毛等，均可以阻挡颗粒物从叶片表面离开。王赞红等[6]研究了大叶黄杨(*Euonymus japonicus*)叶片上表皮的滞尘颗粒物，发现简单清洗并不能去除大多数叶片滞尘颗粒物，更细小的粒子被固定在叶片表皮。Freer-Smith *et al.* [7]对不同绿化树种吸附大气颗粒物的机制研究发现，阔叶树和针叶树叶片表面细颗粒和超细颗粒，均是颗粒物扩散到叶片表面形成的。

3) 截留

空气中的颗粒物受空气湍流的影响，会随气流一起运动，当空气湍流与叶片表面接触时，空气中的颗粒物会被叶片截留。

4) 撞击

空气中的颗粒物受空气湍流的影响，当气流特别强烈，颗粒物会直接撞击到叶片表面，被叶片所固定。植物的树冠特点对湍流有很大影响，密集的结构，可以产生空气湍流，湍流的产生会提高颗粒物与叶片表面撞击的几率[8]，提高植物滞尘的效率。所以幼树和灌木因为较大的叶面积指数，数量结构密集，同样有较高的吸附效率[9]。

4. 植物滞尘的影响因子

被植物叶片吸附等颗粒物，在外界环境的作用下，可能有以下几种去向。通过降雨进入到土壤中、随落叶和枝条降落到地面，还有一部分颗粒物与叶片表面发生接触时，颗粒物可能会被弹回或者是被风吹回到大气中。研究表明大约有 50%的颗粒物会重新回到大气中[2]，但是对于某些针叶树，颗粒物则被固定住角质层中[10]成为长久性的固定，最终叶片降落后，颗粒物也会同落叶一起被清理走。植物叶片吸附颗粒物的效率除了与颗粒物的粒径、物理性质和化学性质有关以外，还与植物的冠型结构和叶片表面的特性有密切关系。

1) 植物树冠结构

对植物滞尘有影响的是叶面积量，高大的乔木，叶面积总量大，在叶片表面能够吸附大量的颗粒物。其次是树冠的结构，密集的结构，可以产生空气湍流，湍流的产生会提高颗粒物与叶片表面撞击的几率，提高植物滞尘的效率。所以幼树和灌木因为较大的叶面积指数，数量结构密集，同样有较高的吸附效率[8] [9]。

2) 叶片表面结构

树种叶片表面有绒毛结构，绒毛能有效的阻挡颗粒物重新悬浮到大气中。叶表表面的树脂对植物滞尘有重要作用。首先，树脂内的颗粒物不会发生重悬浮现象，颗粒物被树脂固定到叶片上直到落叶；其

次, 树脂有一定的粘性, 颗粒物在其表面, 不容易脱离。一般而言, 粗糙多绒毛或者褶皱的叶表面比光滑的叶表面吸附效率高, 有研究表明香樟叶面光滑, 相应其滞尘能力弱, 枫叶叶片表面比较粗糙, 银杏叶片表面具有从叶柄到边缘的长条形沟状结构, 因此和其他叶片相比, 银杏叶片滞尘能力[11]; 针叶树比阔叶树效率高[10]。植物叶子形状越细小, 结构越复杂, 吸附效率越高[12], 有研究表明叶片狭小、较光滑并且柔软的植物种, 如白蜡、柳树、银杏、刺槐等树种的滞尘能力较弱, 而叶片宽大、较平展和硬挺的植物种, 如臭椿、毛白杨、卫茅、核桃、红叶李等的滞尘能力比较强[13]。叶片表面分泌物也会影响植物的滞尘能力较强, 例如针叶树种叶片表面会分泌大量的树脂, 树脂的粘性较大, 容易将颗粒物固定在叶片表面, 另外也有研究表明人为的修剪和管理, 植物的结构搭配以及植物的生长状况, 都会影响植物的滞尘量[2]。与叶片的大小、形状相比, 叶片表面特征对植物的滞尘量起着决定性作用。

3) 植物生长高度

不同植物种类的滞尘量不同, 无论是灌木、乔木植物还是攀缘类植物还有草坪, 其滞尘能力相差很大。胡舒等[14]对徐州市六种城市植物滞尘能力做了评估, 发现不同种的植物滞尘量差异较大, 滞尘能力最高的树种滞尘能力比最低的树种高 2~4 倍。柴一新[15], 江胜利[16], 李海梅[17]等的实验也得出了类似的结论。刘璐等(2013) [18]的研究结果中叶片表面滞尘量最大是芒果, 滞尘量最小的是桃花心木, 两者滞尘量相差 27 倍。王慧[19]在研究中发现灌木的单位面积滞尘量最高, 其次为乔木和草本植物。杨瑞卿[20], 史晓丽[21]等都得出类似的结论。江胜利[16]的研究结果表明乔木的平均单位叶面积滞尘量为 0.43 g/m^2 , 灌木为 1.5 g/m^2 , 草本为 0.53 g/m^2 。但是康博文等[22]对陕西园林树种的研究发现, 乔木滞尘能力较大, 一般高于灌木, 落叶乔木树种比针叶树滞尘能力强。针叶树种全年时间都在滞尘, 在绿量上, 针叶树种的绿量也高于落叶乔木, 所以针叶植物滞尘总量上要高于落叶树种[23]。苏俊霞等[24]在实验发现常绿乔木林的滞尘能力高于草地。

4) 外界环境影响

植物叶片滞尘受到气象条件、环境条件、城市污染状况等多种环境因素影响[25]。首先是大风影响, 叶片表面的颗粒物是空气颗粒物沉降和附着的结果, 在风的作用下, 叶表表面的颗粒物, 脱离叶片重新回到大气中, 大约有 50%的颗粒物会重新回到大气中[2], 5~6 级大风不会使叶面颗粒物附着密度减少[26]。因此叶面尘和空气颗粒物互为“源”和“汇”。

降雨也会影响植物的滞尘量, 一般是雨水冲刷后叶片表面的颗粒物降到最小, 之后叶片表面的颗粒物逐渐累积, 一直达到动态饱和, 即叶片表面的颗粒物增加或者减少的量很小。史晓丽在测定北京行道树种国槐的滞尘量的实验中显示, 叶片点滞尘量随着时间逐渐增加, 在第三周时, 叶片点滞尘量趋于饱和[21]。叶片表面的颗粒物累积速度也是不一样的, 在累积初期, 叶片表面颗粒物增长速度比较快, 在后期逐渐减缓, 这个过程并不是线性变化的过程。但是也有研究表明树种叶面部分颗粒物附着牢固, 不能被中等强度 15 mm 降雨冲掉[26]。

环境颗粒物浓度也是影响植物滞尘量的一个重要因素。史晓丽[21]研究道路旁的国槐 3 周的滞尘总量为 11.54 g/m^2 , 而在对照校园内的国槐滞尘总量仅为 6.7 g/m^2 。俞学如[27], 程政红[28], 李海梅[17]等, 也得出植物滞尘量随着环境中粉尘含量的增多而增大的结论。研究表明, 美国萨克拉曼多市的城市森林对 PM10 的日清除率达到 2.7 t [4], 在上海的研究表明进入森林 50~100 米, 颗粒物减少 9.1% [29]。在芝加哥城市森林面积占市区面积的 11%, 每年可以吸附 234 吨的 PM10, 在美国全国的城市树木可以吸附 21.5 万吨 PM10, 全国的城市森林年滞尘量为 71.1 万吨[1]。研究发现如果将四分之一的城市用地用于绿化, 可以减少 2%~10%的 PM10 [30], 可见城市植物在提高空气质量和滞尘方面发挥着重要作用, 是空气颗粒物的一个汇。通过植物吸附颗粒物是一个成分低, 容易实施, 并且环境友好的一种改善方法, 事实上也是目前唯一的能够广泛应用于室外的改善方法。

5. 总结

近年来, 国内外学者在植物滞尘机理、植物的滞尘特点和滞尘能力、植物滞尘评价等方面做了大量的研究。但是以下问题仍待解决。

1) 对于叶片表面颗粒物的形态特征、化学成分、存在位置和数量分布等研究较少。

2) 虽然对植物滞尘总量研究较多, 但是对于植物叶片对不同粒径的颗粒物的吸附能力研究较少, 植物叶片特征与植物滞尘量之间的关系、影响植物滞尘的主要因素等尚不明晰。

3) 大量研究表明植物滞尘最终会达到饱和状态, 但是对植物达到饱和前的累积特点尚未定论。

4) 对叶片树脂尘、叶表固定尘和叶表流动尘尚未准确的核算。

5) 城市植物滞尘量巨大, 但还没有基于实验测定的方法对城市植物滞尘量进行核算。

基金项目

国家重点研发计划(2016YFF0103005)。

参考文献

- [1] Nowak, D.J., Crane, D.E. and Stevens, J.C. (2006) Air Pollution Removal by Urban Trees and Shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, **4**, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- [2] Jim, C. and Chen, W.Y. (2008) Assessing the Ecosystem Service of Air Pollutant Removal by Urban Trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Management*, **88**, 665-676. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.035>
- [3] Escobedo, F.J. and Nowak, D.J. (2009) Spatial Heterogeneity and Air Pollution Removal by an Urban Forest. *Landscape and Urban Planning*, **90**, 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.021>
- [4] 吴海龙, 余新晓, 师忱, 等. PM_{2.5} 特征及森林植被对其调控研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(6): 116-122.
- [5] Prusty, B., Mishra, P. and Azeez, P. (2005) Dust Accumulation and Leaf Pigment Content in Vegetation near the National Highway at Sambalpur, Orissa, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **60**, 228-235. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2003.12.013>
- [6] 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.
- [7] Freer-Smith, P., Beckett, K. and Taylor, G. (2005) Deposition Velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* × *trichocarpa* “Beaupré”, *Pinus nigra* and × *Cupressocyparis leylandii* for Coarse, Fine and Ultra-Fine Particles in the Urban Environment. *Environmental Pollution*, **133**, 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.031>
- [8] Beckett, K.P., Freer Smith, P. and Taylor, G. (2000) Effective Tree Species for Local Air Quality Management. *Journal of Arboriculture*, **26**, 12-19.
- [9] Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H., Gawronska, H. and Gawronski, S. (2012) Plant Species Differences in Particulate Matter Accumulation on Leaf Surfaces. *Science of the Total Environment*, **427-428**, 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.084>
- [10] Dzierzanowski, K., Popek, R., Gawronska, H., Sæbø, A. and Gawronski, S.W. (2011) Deposition of Particulate Matter of Different Size Fractions on Leaf Surfaces and in Waxes of Urban Forest Species. *International Journal of Phytoremediation*, **13**, 1037-1046. <https://doi.org/10.1080/15226514.2011.552929>
- [11] 方颖, 张金池, 王玉华. 南京市主要绿化树种对大气固体悬浮物净化能力及规律研究[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 36-40.
- [12] Beckett, K.P., Freer-Smith, P. and Taylor, G. (2000) Particulate Pollution Capture by Urban Trees: Effect of Species and Windspeed. *Global Change Biology*, **6**, 995-1003. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00376.x>
- [13] 张秀梅, 李景平. 城市污染环境中适生树种滞尘能力研究[J]. 环境科学动态, 2001(2): 27-30.
- [14] 胡舒, 肖昕, 贾含帅, 周江. 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
- [15] 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.
- [16] 江胜利, 金荷仙, 周金富, 许小连. 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.

- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 王慧, 郭晋平, 王智敏, 谢亚飞. 公路绿化主要树种滞尘潜力模拟试验研究[J]. 山西林业科技, 2011, 40(2): 13-16.
- [20] 杨瑞卿, 肖扬. 徐州市主要园林植物滞尘能力的初步研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(20): 8576-8578.
- [21] 史晓丽. 北京市行道树固碳释氧滞尘效益的初步研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学学报, 2010.
- [22] 康博文, 刘建军, 王得祥, 侯琳. 陕西 20 种主要绿化树种滞尘能力的研究[J]. 陕西林业科技, 2003(4): 54-56.
- [23] 杨士军, 罗峙浮, 李科煌. 不同植物滞尘能力的初步研究[J]. 上海环境科学, 2005, 24(1): 43-46.
- [24] 苏俊霞, 靳绍军, 闫金广, 张钦弟, 高瑞如, 芦英梅. 山西师范大学校园主要绿化植物滞尘能力的研究[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2006, 20(2): 85-88.
- [25] 庞博, 张银龙, 王丹. 城市植物滞尘的研究现状与展望[J]. 山东林业科技, 2009, 39(2): 126-130.
- [26] 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[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 998-1002.
- [27] 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]: [硕士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [28] 程政红, 吴际友, 刘云国, 李洪泽, 熊义思, 李红甫, 李力. 岳阳市主要绿化树种滞尘效应研究[J]. 中国城市林业, 2004, 2(2): 37-40.
- [29] Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., *et al.* (2011) Quantifying Air Pollution Attenuation within Urban Parks: An Experimental Approach in Shanghai, China. *Environmental Pollution*, **159**, 2155-2163. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.009>
- [30] Donald, A., Bealey, W., Fowler, D., *et al.* (2007) Quantifying the Effect of Urban Tree Planting on Concentrations and Depositions of PM 10 in Two UK Conurbations. *Atmospheric Environment*, **41**, 8455-8467. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.07.025>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5665, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: br@hanspub.org