

植物叶片吸附大气颗粒物的研究综述

唐敏忠, 汉瑞英, 陈健

(浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘 要:空气中的颗粒物包含 TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5}, 严重影响和威胁了城市人口的生活质量及健康。为了降低城市居民的健康风险, 控制污染源刻不容缓。植物对环境的修复具有很大的潜力, 这已得到了共识。现从叶片解剖结构、叶片表观形态、叶片平面几何形态以及叶片其它方面阐述了植物叶片滞尘能力差异。不同绿化树种对颗粒物的吸附净化作用不同, 通过比较不同城市绿化树种对大气中颗粒物的净化能力, 来探索经济高效的环境治理方法, 这在当今显得尤为重要。

关键词:颗粒物; 叶面结构; 树种筛选

中图分类号:Q 945 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)11-0187-06

空气中悬浮的颗粒物是一种重要的环境污染物, 对人体健康、环境和气候都能产生重大影响。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(空气动力学直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒物)浓度之间有显著的因果关系^[1]。我国随着城市化和工业化的发展, 城市大气污染现象十分普遍, 在多数城市可吸入颗粒物都是首要大气污染物^[2-3]。据《2010 年中国环境状况公布》统计, 全国空气质量监测的 471 个县级及以上城市中, 仅有 3.3% 的城市可吸入颗粒物年均浓度达到一级标准。

为了降低城市居民的健康风险, 控制污染源刻不容缓, 同时利用植物对污染的环境进行修复也具有很大的潜力^[4]。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^[5], 特别是森林斑块对空气质量的改善有显著作用^[6]。上海的一项研究结果表明, 与城市森林公园外部相比, 在距公园边缘 50~100 m 处公园内部林地测得 PM₁₀、NO₂ 和 SO₂ 的浓度分别减少了 9.1%、2.6% 和 5.3%^[7]。植被不仅能清除空气中的 PM₁₀, 还能转移空气中与 PM₁₀ 颗粒混合的多环芳烃(PAHs)和一些重金属物质。在北京城市中的树木

一年能吸附 772 t 的 PM₁₀; 美国芝加哥占城市面积 11% 的城市林地每年可以吸附 234 t 的 PM₁₀, 在美国全境内城市树林及灌木林每年转移 PM₁₀ 的总量达 215 000 t; 在城市中种植占城市可利用土地资源 1/4 的林地就能使 PM₁₀ 浓度减少 2%~10%^[4]。

植物因其较大的叶面积指数, 可以有效吸附和移除空气中的颗粒物, 因此利用植物减缓环境中的颗粒物污染被认为具有很大的潜力^[8]。目前对植物叶片滞留颗粒物进行了大量的研究, 这些研究主要集中在植物种类或植物群落滞尘方面, 很少有仅仅关注植物叶片滞尘的对比研究, 而且大部分研究都仅仅考虑某一个或几个影响因素, 较少有系统比较和分析。因此, 文章在介绍植物叶片滞留颗粒物机理的基础上, 重点从叶片解剖结构、表观形态、平面几何形态、湿润性、表面自由能等方面分析其对植物叶片滞尘的影响, 为进一步探讨植物叶片滞留颗粒物机理提供参考, 也为城市绿化树种的选择及绿地生态建设提供理论依据。

1 植物滞尘机理

城市绿化植物覆盖自然地表, 可减少空气中粉尘的出现和移动, 特别是一些结构复杂的植物群体对空气污染物的阻挡, 使污染物不能大面积传播, 从而有效地杜绝了二次扬尘。城市的绿化植被尤其是具有繁茂枝冠植物, 能有效降低风速, 空气中漂浮的大颗粒粉尘由于风速降低下沉到植被的叶表或地面, 形成了植物滞尘过程^[9-10]。披覆绒毛和能分泌黏性物质的植物叶片能滞留大量的大气颗粒物, 滞留粉尘的叶片通过降水以及洒水冲刷作用, 之前布满灰尘的叶片又能恢复滞尘能力^[11-12]。植物在光合及呼吸作用过程中, 还可通过叶片的气孔和皮孔来吸收含重金属的粉尘^[13]。

第一作者简介:唐敏忠(1989-), 男, 江苏溧阳人, 硕士研究生, 研究方向为植物滞尘和森林生态。E-mail:tmzly2008@163.com

责任作者:陈健(1979-), 男, 湖北襄樊人, 博士, 副教授, 现主要从事大气气溶胶及环境遥感与 3S 信息技术应用等研究工作。E-mail:chenjian@126.com

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41471442); 浙江省重点创新团队资助项目(2011R50027); 浙江农林大学研究生科研创新基础资助项目(3122013240288)。

收稿日期:2015-01-19

不同树种由于其冠层结构及叶片特性不同,对可吸入颗粒物的吸附能力也有所不同。林木风的湍流运动越剧烈,则叶片吸附颗粒物的量就越多^[14],因此,叶片的形状、方向及叶毛等都可以影响树种对颗粒物的捕获能力^[15];叶片有无蜡质层、蜡质层厚度、化学组成及结构等因素也会影响颗粒物在叶片上的沉降量,一方面颗粒物被吸附在叶片蜡质层表面,同时一些颗粒物还会渗透进叶片蜡质层中^[16]。比如,具有粗糙叶片表面的阔叶树种比具有光滑叶片的阔叶树种能够有效的吸附颗粒物^[17];针叶树种由于其叶片具有较厚的蜡质层较之阔叶树种叶片捕获 TSP 的能力更强^[15];并且常绿针叶树种能够在全年持续吸附空气中的污染颗粒物。然而,一些针叶树种对污染环境的耐受能力较差,无法承受高交通尾气污染,尤其是冬季利用盐溶化道路的环境^[17],因此,一般不建议作为城市行道树种。

如果利用城市绿化树种作为大气过滤器,进而对城市环境进行净化,那么选择合适的树种就显得尤为重要。同时,污染颗粒物本身也会对植物生长产生影响^[18],这也是进行城市绿化需要考虑的重要方面。因此树种捕获颗粒物的能力和环境污染耐受力都是城市或郊区绿化树种选择所必须考虑的因素^[19]。

通过对以上研究进行分析,发现对影响植物滞尘量因素的关注逐渐由宏观转向微观。其中,结合叶表面微观结构分析植物的滞尘能力,已成为深入研究植物滞尘机理的一个重要途径^[20]。

2 叶片滞尘的影响因子

城市绿化植物叶片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,也有外界环境因素。外因方面,植物周围环境状况如风速、温度、湿度、降雨量等和尘源距离、车流量等因素都会对植物滞尘产生影响;内因方面,叶面粗糙程度、叶片倾角、叶片大小、枝叶分泌物、树冠大小、疏密度、植物的种类、高度等因素都会对植物滞尘能力造成影响。近年来,围绕叶片的形态解剖学特征,对植物吸附颗粒物进行了大量研究。但从叶片形态特征方面研究树种滞尘能力的差异尚鲜见报道。

2.1 叶解剖结构

2.1.1 气孔的影响 气孔是植物与外界进行气体和水分交换的通道,通常由成对的保卫细胞以及保卫细胞之间的孔隙组成^[21]。不同植物叶片单位面积上气孔的数目及其分布状态不同,且气孔在表皮上的位置也各有不同,这些都反映着植物器官生长与环境的关系。气孔大小和密度能增加颗粒物与叶片的接触面积。芒果(*Mangifera indica*)、重阳木(*Bischofia polycarpa*)和高山榕(*Ficus altissima*)叶表粗糙,气孔密度约集中在 20~60 个/视野 400 倍,且上述 3 种植物的气孔口较大,雨后 26 d 的阻滞各中粒径颗粒物分别达到 1.831、1.789、

1.707 g/m²^[22]。香樟(*Cinnamomum camphora*)和女贞(*Ligustrum lucidum*)气孔器密集,为气孔吸附主导型,无表皮毛阻挡,气孔密、气孔口大,日吸附悬浮颗粒物量大于 40 mg/m²,吸附悬浮颗粒物的效果较佳^[23]。一般情况下,植物叶片滞尘量随着叶片气孔数量的增加而增加,但也有例外,红花檵木(*Loropetalum chinense* var. *rubrum*)和桂花(*Osmanthus fragrans*)的气孔密度分别为 40、43 个/视野 400 倍,在 11 种对比树种气孔数量排名第 4 和第 5,其滞尘量却相对较小,分别为 2.30934 g/m²和 1.45043 g/m²,在 11 种树种中仅排名第 7 和第 10。这可能是由于该 2 种植物气孔较平,无明显的起伏^[24]。

2.1.2 叶片厚度的影响 叶片厚度能够影响叶片内外物质和能量的交换,在一定程度上能体现叶片的强度。叶片越厚由于其不易压垮变形,所以相同条件下能残留更多的颗粒物^[25]。干重滞尘量是植物叶片滞尘量研究中的一种方法^[24,26],由于叶片有厚薄之分,叶片重量对于干重滞尘量有很大的影响。干重滞尘量与单位面积滞尘量是研究叶面滞尘的 2 个指标,研究表明单位面积滞尘量能更合理的反映不同树种的滞尘量^[22]。

2.2 叶表面形态

2.2.1 绒毛的影响 叶面绒毛是植物体表的一种附属结构,是植物对环境条件适应的一种表现,具有重要的生理生态意义。齐飞艳等^[27]研究发现,有密集绒毛的枇杷树(*Eriobotrya japonica*)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最高。叶片较光滑者粉尘在其上多为停着,而在有绒毛的叶片上的,则表现为附着和停着。停着的粉尘容易被风吹走,附着的粉尘经较大的风或雨淋才能被带走^[28]。粉尘与叶片表面接触并进入绒毛之间,被绒毛卡住,难以脱落。叶片表面绒毛的分布密度、形态、质地和类型都直接影响着颗粒物在叶片表面的滞留能力。李海梅等^[29]通过研究发现青岛市城区主要园林树种中,叶表密集绒毛的悬铃木(*Platanus acerifolia*)具有较强的滞尘能力,单位面积滞尘量为 3.262 g/m²。胡舒等^[30]在徐州市主要落叶树种滞尘的研究中得出了同样的结论,叶表面密披星状短绒毛的二球悬铃木单位叶面积滞尘量在 3 个不同的研究区域均较高,分别为 0.6442、1.2604、2.2777 g/m²,由此也可知,同一树种相同采样时间内,由于生境不同滞尘量差异明显。柴一新等^[11]认为,银中杨(*Populus alba*)叶片表面的绒毛多于榆叶梅(*Amygdalus triloba*),因此滞尘能力较强。陈芳等^[31]与前二者得出类似的结论,植被叶表绒毛密度很大程度上影响颗粒物的滞留能力,不同的绒毛密度导致颗粒物在叶片表面的滞留方式不同。王会霞等^[32]研究发现,有较长绒毛的毛白杨(*Populus tomentosa*)和构树(*Broussonetia papyrifera*)叶片滞尘能力较弱。由此推断,颗粒物可能停着在植物过长的绒毛,而使其不易到达叶表,易脱落,导致滞尘能力降低。

2.2.2 分泌物的影响 某些树种叶表具有分泌功能的腺毛或腺体,其分泌物可粘附大量的降尘,柴一新等^[11]认为植物对颗粒物吸附的这种方式最为稳定。研究发现大多数阔叶树种均无特殊分泌物^[22],而像松科等裸子植物的枝叶能分泌树脂、黏液、胶状液体等特殊分泌物,植物叶片靠分泌物吸附颗粒物,并且很难被雨水冲刷^[33-34]。勒杜鹃(*Bougainvillea glabra*)上下表皮均有腺毛,且腺毛更密,周平均滞尘量为 8.2220 g/m^2 ,蟛蜞菊(*Sphagneticola calendulacea*)由于只有下表皮有腺体,滞尘方式主要为停着和附着,周滞尘量为 8.1232 g/m^2 ,分泌物的多少是这 2 种植物滞尘能力差异的因素^[35]。江胜利等^[36]在灌木滞尘的研究中发现,无刺枸骨(*Ilex cornuta*)由于受到的外界环境因素的影响,其叶片分泌黑色的粘性物质,对空气中颗粒物粘附力强,单位面积滞尘量为 0.8724 g/m^2 ,而叶表绒毛较多的红花檵木单位面积滞尘量仅为 0.2853 g/m^2 。贾宗锴等^[28]对石家庄市绿化植物滞尘的研究中得出与江胜利类似的结论,有分泌物的植物吸尘能力较强。

2.3 平面几何形态

2.3.1 叶面积的影响 陈芳等^[31]在武钢厂区阔叶乔灌调查中发现,不同植物间单叶滞尘量有很大的差异,悬铃木的单叶滞尘量可高达 0.0334 g ,而红叶李(*Prunus cerasi fera*)的单叶滞尘量仅为 0.0030 g ,相差数十倍。单叶面积较大的悬铃木、枇杷和广玉兰等树种,多次调查中滞尘量都比其它树种大,这说明叶表面积是影响植物滞尘量的一个重要因素。刘玲等^[23]对比香樟、银杏(*Ginkgo biloba*)、广玉兰和桂花得出,单位叶面积吸附量不与叶面积成正相关。这可能是因为叶面积仅仅是影响单位叶面积吸附量的一个主要因素,吸附量还受到叶片形状、叶片质地、树冠形态特征等影响。贾宗锴等^[28]对石家庄市 3 个代表性样点植物单位叶面积滞尘量分析得出,不同类型植被滞尘量有一定差异,单位叶面积滞尘量与树冠大小呈正相关,其大小顺序为:常绿乔木>常绿灌木>落叶乔木>落叶灌木>地被植物。叶面积与单叶面积都是影响植物滞尘量的主要因素,叶面积越大,叶子滞尘总量越高。树木的总叶面积大小同时受单个叶片面积和叶片数量的影响,植物的单叶面积较大,并不意味着其总叶面积也大。单位叶面积滞尘量与叶面积和单叶面积无正相关,而与树冠大小呈正相关关系。

2.3.2 叶片倾角 植物叶片的着生角度不仅会影响植物光合作用的效率,影响植物生物量,同时也会影响植物的滞尘能力。吕东蓬^[37]在对 3 种垂直绿化滞尘的研究中得出,植物滞尘量与叶面倾角也有一定关系。云南黄馨(*Jasminum mesnyi*)枝叶密集,叶片倾角单一,不能发挥每个叶片的滞尘作用;而野蔷薇(*Rosa multiflora*)和爬山虎(*Parthenocissus tricuspidata*)枝叶较为稀疏,叶

片倾角多样,有利于发挥每个叶片滞尘作用。俞学如^[24]对不同倾角的法国冬青(*Viburnum odoratissimum*)叶片进行研究,发现在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 范围的倾角,法国冬青的滞尘量是最大的。

2.4 与叶有关的其它指标

2.4.1 叶片润湿性的影响 叶片蜡质和叶片接触角是叶片润湿性的 2 个主要影响因素。研究发现,蜡质越少,叶片的正面接触角越小,叶片更易润湿,吸附细颗粒越多^[38]。叶片蜡质是沉积在叶片表皮细胞外的一层亲脂性化合物,其主要成分是长链的脂肪酸、醇、醛等。叶表蜡质成分及形态在不同的种,甚至同种在不同生长阶段及不同生境,蜡质含量及成分均有变化^[39]。若不考虑其它影响因子对植物叶表滞尘的影响作用下,对叶表的润湿性起主要作用的影响因素有蜡质层的厚度、蜡质层与角质层的比例等。Brewer 等^[40]从叶片润湿性的角度研究了 3 种植物整个生长季滞尘能力的变化,发现易润湿的山毛榉(*Fagus engleriana*)叶片在整个生长期均具有较强的滞尘能力。随着生长期的延长,橡树(*Ficus elastica*)叶片润湿性增强,滞尘能力也随之增强。银杏由于特殊的表面结构和疏水的蜡质不易润湿,具有“自清洁”的特性。植物叶片的接触角随蜡质含量的升高而增大,二者之间的正相关关系不显著^[32,41]。叶片接触角较大时,由于叶片表面表皮细胞突起、叶片表面蜡质的微观结构对叶片的润湿性有一定程度的影响,直接导致叶片与颗粒污染物的接触面积较小,使得污染物与叶表面的亲和力减小,滞留的粉尘易于在风、降水等的作用下离开叶面。对于接触角较小的润湿叶片,与水的亲和力较大,水分在润湿性强的叶面上铺展呈膜,加上叶片表面的微观结构凹凸不平^[32],具有钩状、脊状褶皱等使得粉尘不易从叶面脱落,滞尘能力相对较强。亲水型的芒果正面气孔密度较大,覆面交织呈网状,重阳木、高山榕的侧接触角较小,滞尘能力较大。叶片滞尘量随接触角增大而降低,接触角和滞尘量之间呈显著负相关^[22]。

2.4.2 叶片高度的影响 叶片高度对于叶片滞尘差异主要由以下 2 点决定的:由于空气中不同高度颗粒物浓度不同,影响了叶片的滞尘;道路和车流等外界环境容易造成低矮处植物叶片的二次滞尘,因此对于同株植物而言,低矮处叶片滞尘能力更加突出^[42]。孔春霞等^[43]研究了南京市不同高度、不同季节的 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 平均质量浓度变化,研究发现随着高度的增加,采样期间夏季和秋季的 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 平均质量浓度均呈现逐渐减小的趋势^[44]。江胜利^[42]在杭州市道路绿化植物中研究发现灌木中,红叶石楠、无刺枸骨在其植株灌丛的最低位置滞尘能力最强,分别为 2.2761 、 1.4602 g/m^2 ,其次是中部和上部;乔木中,杜英和香樟的不同高度的滞尘能力与以上 2 种灌木呈现出相同变化趋势,高度到 $3 \sim 5 \text{ m}$ 时滞尘量显著下降。主要原因是其垂直高度不同,接受

的灰尘量也不同^[45]。众多学者认为,灌木的单位叶面积滞尘量大于乔木的主要原因可能是乔木与灌木的垂直高度不同,乔木主要阻滞和过滤外界的降尘及飘尘,而树冠较密的灌木则能有效减少地面的扬尘^[46]。

2.4.3 叶片表面自由能 叶片表面自由能是叶片基本的热力学性质,许多研究发现诸与叶片有关的润湿性和粘结性均与之密切相关^[47]。王会霞等^[32]研究得出叶片表面自由能与其化学组成密切相关。植物叶片的化学组成主要是羧基脂肪酸、脂肪族化合物、环状化合物等非极性或非极性的物质^[48]。由于极性分量对叶表自由能的贡献小,所以叶表自由能主要表现为分子间色散力的作用。Shen 等^[49]研究发现,叶表色散分量对柿子(*Diospyros kaki*)叶片表面自由能的贡献率高达 83.8%,这与王会霞的研究结果基本一致。植物叶表滞尘量与叶表自由能的色散分量呈正相关。与色散分量相比,极性分量对表面自由能的贡献则相对较小,但粉尘等颗粒物的组成非常复杂,极性官能团之间可能发生相互作用^[50],因此极性分量对叶片滞尘能力可能也有一定影响。

3 叶表吸附颗粒物的研究方法

颗粒物在叶片表面沉降可通过 5 种机制:重力作用下的降落、扩散、湍流作用下的撞击、降水及隐性沉^[17]。为了了解植物滞尘效应以及监测植物生境的空气质量状况,国内外都广泛开展了叶面滞尘的研究。研究的主要方法有以下 3 种:一是不对叶片处理,直接对叶面滞尘进行观察;二是冲洗叶面,收集浸洗溶液并对其主要成分进行分析^[22,30];三是对叶片进行消解后测定叶片内重金属等元素的含量^[23]。国内外常用普遍采用第 2 种方法,并且常用的指标是单位面积滞尘量。

参考文献资料得出打孔称重法^[24]、称纸重法、方格网法、叶面积仪法是主流的叶面积的测定方法^[51]。肖强等^[52]、高祥斌等^[53]通过植物的叶片扫描照结合 Photoshop 软件统计出植被的叶面积;史燕山等^[54]通过试验得出柿树叶面积回归方程;陶洪斌等^[55]通过不同方法测定水稻叶面积,得出打孔称重法与复印称重法均能很好测定植物叶面积。

叶片含滞尘量常采用差重法测定,有水洗过滤法和叶表面擦拭法。水洗过滤法即将叶片用水浸洗,浸洗液用已烘干滤纸(M1)过滤,再将滤纸于 60℃ 烘干 24 h 后称质量(M2),2 次质量之差(M1-M2)即为叶片滞留颗粒物的总质量^[12]。叶表面擦拭法指先将叶片称质量(M1),后用小毛刷除去叶表面的灰尘,再对叶片质量称量(M2),2 次之差即为叶片滞尘量^[56]。

4 研究展望

在未来的城市化进程中,植物必将发挥其不可替代的作用,而植物滞尘效益只是其中一个重要方面。不同

树种对大气颗粒物的滞尘效益及其影响因素和比较已经有了很多前人的研究成果,但是在很多方面仍需要进一步的深入研究。1)在研究对象方面:以往植物滞尘的研究多着重于一个小区域的非受控环境采样,叶面滞尘量的研究也仅仅是称重得到单位叶面积滞尘量或是单位重量滞尘量,缺乏在大尺度上对全局城市绿地滞尘方面的研究;2)在研究的层次方面:近年来,有一些国内学者已经开展了植物叶片对不同粒径级别颗粒物的细化研究。但这些研究仅仅是单方面的植物叶片对细颗粒物的一个吸附情况,很少有研究植株对污染颗粒物的抗性^[18],因此捕获大气颗粒物和承受环境污染压力的能力都是在城市或郊区选择最佳植物的重要特性^[19],有关城市绿地系统对降尘适应能力的研究还有待于进一步探讨;3)在研究方法方面:特别是国内关于植物叶片吸附颗粒物的研究,绝大部分都是选择道路两侧或其他区域已种植的林木为采样对象,采样对象之间生长状态、距离尘源的距离、风速、湿度、颗粒物浓度等因子都存在差异,很难解释清楚树种滞留颗粒物的机理和滞留能力差别的原因。总体来说研究的方法过于笼统,应逐步细化尽量开展环境可控性研究试验。

在以后的试验研究中应开展受控试验,排除受控对象所处的生态环境因子、气象因子及颗粒物浓度不一致引起的叶片滞留能力差异,通过不同细颗粒物污染水平下树种叶片颗粒物滞留量的观测,结合叶片表面形态特征和叶片生理生化参数,并辅助于颗粒物地基监测获取的浓度及成分,以及常规气象因子的观测,对比分析不同树种对不同粒径颗粒物,特别是细颗粒物的吸附能力及影响因素,探寻树种叶片对污染颗粒物的滞留机理和适应机制,为城市绿化树种选择提供指导,也为最大程度发挥城市绿地生态效益提供参考。

参考文献

- [1] Pope C A. Review: epidemiological basis for particulate air pollution health standards[J]. Aerosol Science and Technology, 2000, 32(1): 4-14.
- [2] Wang Z F, Chen L F, Tao J H, et al. Satellite-based estimation of regional particulate matter (PM) in Beijing using vertical-and-RH correcting method[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(1): 50-63.
- [3] Xu L, Chen X, Chen J, et al. Seasonal variations and chemical compositions of PM_{2.5} aerosol in the urban area of Fuzhou, China[J]. Atmospheric Research, 2012, 104: 264-272.
- [4] Nowak D J, Crane D E, Stevens J C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2006, 4(3-4): 115-123.
- [5] Escobedo F J, Wagner J E, Nowak D J, et al. Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality[J]. Journal of Environmental Management, 2008, 86(1): 148-157.
- [6] Cavanagh J E, Zawar-Reza P, Wilson J G. Spatial attenuation of ambient particulate matter air pollution within an urbanised native forest patch[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2009, 8(1): 21-30.
- [7] Yin S, Shen Z M, Zhou P S, et al. Quantifying air pollution attenuation within urban parks: an experimental approach in Shanghai, China[J]. Environmental

- Pollution (Barking, Essex; 1987), 2011, 159(8-9): 2155-2163.
- [8] McDonald A G, Bealey W J, Fowler D, et al. Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM₁₀ in two UK conurbations[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(38): 8455-8467.
- [9] 张新猷, 古润泽. 北京城市居住区绿地的滞尘效益[J]. 北京林业大学学报, 1997, 19(4): 12-17.
- [10] 朱天燕. 南京雨花台区主要绿化树种滞尘能力与绿地花境建设[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [11] 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.
- [12] 余曼, 汪正祥, 雷标, 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.
- [13] 王亚超. 城市植物叶面生理化特性及源解析研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2007.
- [14] Fowler D, Cape J N, Unsworth M H, et al. Deposition of atmospheric pollutants on forests and discussion[J]. Biological Sciences, 1989, 324(1223): 247-265.
- [15] Beckett K P, Freer-Smith P H, Taylor G. Urban woodlands; their role in reducing the effects of particulate pollution[J]. Environmental Pollution (Barking, Essex; 1987), 1998, 99(3): 347-360.
- [16] Dzierzanowski K, Popek R, Gawrońska 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.
- [17] Beckett K P, Freer-Smith P H, Taylor G. Effective tree species for local air quality management[J]. Journal of Arboriculture, 2000, 26(1): 12-19.
- [18] Chappelka A H, Freer-Smith P H. Predisposition of trees by air pollutants to low temperatures and moisture stress[J]. Environmental Pollution (Barking, Essex; 1987), 1995, 87(1): 105-117.
- [19] Sæbo A, Popek R, Nawrot B, et al. Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces[J]. Science of the Total Environment, 2012, 427-428: 347-354.
- [20] 郑蕾. 我国城市绿化植物滞尘的研究现状与展望[J]. 芜湖职业技术学院学报, 2011, 13(3): 21-23.
- [21] 郑玉龙, 姜春玲, 冯玉龙. 植物的气孔发生[J]. 植物生理学通讯, 2005, 41(6): 847-850.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 刘福智, 刘加平. 植物对空气中可吸入颗粒物的量化控制及影响[J]. 青岛理工大学学报, 2005, 26(5): 25-29.
- [26] 梁淑英. 南京地区常见城市绿化树种的生理生态特性及净化大气能力的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [27] 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.
- [28] 贾宗锴, 孙晓光, 张晓曼. 石家庄市城市绿化植物滞尘能力初探[J]. 河北林业科技, 2010(6): 14-18.
- [29] 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]. 生态学报, 2008, 27(10): 1659-1662.
- [30] 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.
- [31] 陈芳, 周志翔, 郭尔祥, 等. 城市工业区园林绿化地滞尘效应的研究-以武汉钢铁公司厂区绿地为例[J]. 生态学杂志, 2006, 25(1): 34-38.
- [32] 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.
- [33] 高金晖, 王冬梅, 赵亮, 等. 植物叶片滞尘规律研究-以北京市为例[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(2): 94-99.
- [34] 陈玮, 何兴元, 张粤, 等. 东北地区城市针叶树冬季滞尘效应研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2113-2116.
- [35] 王凤珍, 李楠, 胡开文. 景观植物的滞尘效益研究[J]. 现代园林, 2006, 12(6): 33-37.
- [36] 江胜利, 金荷仙, 魏彩霞, 等. 杭州常见道路绿化灌木秋季滞尘能力研究[J]. 江西农业学报, 2012, 24(4): 51-54.
- [37] 吕东蓬. 三种垂直绿化植物滞尘效应与其对光合作用影响的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2011.
- [38] 石辉, 王会霞, 李秧秧. 植物叶表面的润湿性及其生态学意义[J]. 生态学报, 2011, 31(15): 4287-4298.
- [39] Greene P R, Bain C D. Total internal reflection Raman spectroscopy of barley leaf epicuticular waxes *in vivo*[J]. Colloids Surf B Biointerfaces, 2005, 45(3-4): 174-180.
- [40] Brewer C A, Nunez C I. Patterns of leaf wettability along an extreme moisture gradient in western Patagonia, Argentina[J]. International Journal of Plant Sciences, 2007, 168(5): 555-562.
- [41] 王会霞, 石辉, 李秧秧. 西安市常见绿化植物叶片润湿性能及其影响因素[J]. 生态学报, 2010, 29(4): 630-636.
- [42] 江胜利. 杭州地区常见园林绿化植物滞尘能力研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2012.
- [43] 孔春霞, 郭胜利, 汤莉莉. 南京市生活区夏秋季节大气颗粒物垂直分布特征[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(11): 35-38.
- [44] 赵越. 杭州滨水植物群落 PM₁₀ 浓度测定及景观评价研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2011.
- [45] 苏俊霞, 靳绍军, 闫金广, 等. 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, 2006, 20(2): 85-88.
- [46] 高君亮, 张景波, 孙非, 等. 内蒙古磴口县 10 种园林绿化树种滞尘能力研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(8): 176-180.
- [47] 王志玲, 王正, 阎昊鹏. 麦秆表面自由能及其分量研究[J]. 高分子材料科学与工程, 2007, 23(3): 207-210.
- [48] Müller C, Riederer M. Plant surface properties in chemical ecology[J]. Journal of Chemical Ecology, 2005, 31(11): 2621-2651.
- [49] Shen Q, Ding H G, et al. Characterization of the surface properties of persimmon leaves by FT-Raman spectroscopy and wicking technique[J]. Colloids and Surfaces B, Biointerfaces, 2004, 37(3-4): 133-136.
- [50] Wagner P, Fürstner R, Barthlott W, et al. Quantitative assessment to the structural basis of water repellency in natural and technical surfaces[J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(385): 1295-1303.
- [51] 刘贯山. 烟草叶面积不同测定方法的比较研究[J]. 安徽农业科学, 1996, 24(2): 139-141.
- [52] 肖强, 叶文景, 朱珠, 等. 利用数码相机和 Photoshop 软件非破坏性测定叶面积的简便方法[J]. 生态学报, 2005, 24(6): 711-714.
- [53] 高祥斌, 张秀省, 蔡连捷. 观赏植物叶面积测定及相关分析[J]. 福建林业科技, 2009, 36(2): 231-234, 25.
- [54] 史燕山, 骆建霞. 柿树叶面积测定方法的研究[J]. 果树科学, 1996, 13(4): 253-254.
- [55] 陶洪斌, 林杉. 打孔称重法与复印称重法和长宽校正法测定水稻叶面积的方法比较[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(3): 496-498.
- [56] 江胜利, 金荷仙, 许小连. 园林植物滞尘功能研究概述[J]. 林业科技开发, 2011, 25(6): 5-9.

DOI:10.11937/bfyy.201511048

陕西苹果园土壤污染现状评估分析

赵佐平^{1,2}

(1. 陕西理工学院 化学与环境科学学院, 陕西 汉中 723001; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了解陕西果园土壤污染现状, 加强果园综合管理、指导果农科学种植。以陕西省果园主要分布区的农户调查数据为基础, 结合近几年有关果园土壤污染资料, 分析评估陕西省苹果园土壤污染现状。结果表明: 陕西苹果园纯氮施用量平均达 671 kg/hm², 是苹果树需氮量的近 3 倍。果园硝态氮累积严重, 累积层主要集中在 80~200 cm, 其含量超过 200 mg/kg 以上。陕西果园土壤重金属含量现状水平符合无公害苹果生产及绿色食品苹果生产的要求。但土壤 As、Hg 和 Ni 单项污染指数较高。公路两侧果园土壤受汽车尾气铅的影响造成一定的轻度污染。果农缺乏用药常识, 不合理的喷施农药造成果园土壤污染。为此提出减轻陕西果园土壤污染的措施: 1) 根据土壤的特性、气候状况和农作物的生长发育特点, 配方施肥, 应减少氮肥用量, 提高氮肥利用率, 适当增加磷钾肥, 实现养分资源综合管理。2) 控制化学农药的用量、范围、喷施次数和喷施时间, 提高喷洒技术, 改进农药剂型, 严格限制剧毒、高残留农药的使用。3) 严控“三废”入园, 选园时尽量避开已有的污染源; 投入磷、钾、有机肥及微肥时, 应注意砷、铬、铅等有害元素的引入。增施有机肥, 提高土壤有机质含量, 增强土壤胶体对重金属和农药的吸附能力。

关键词: 陕西; 苹果园; 土壤污染; 分析

中图分类号: S 661.106⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2015)11-0192-05

土壤是陆地表面能够生长植物的疏松表层, 是地球上生命活动不可缺少的重要物质。从生态学的观点看, 土壤是物质分解者(主要是土壤微生物)的栖息场所, 是

作者简介: 赵佐平(1982-), 男, 博士, 讲师, 现主要从事污染物迁移与调控等研究工作。E-mail: zhaozuoping@126.com.

基金项目: 农业部农业环境重点实验室开放基金资助项目(2015); 陕西理工学院人才启动资助项目(SLGKYQD2-07)。

收稿日期: 2015-01-22

物质循环的主要环节。从环境污染的观点看, 土壤既是污染的场所, 也是缓和及减少污染的场所^[1]。当土壤中含有有害物质过多, 超过土壤的自净能力, 就会引起土壤的组成、结构和功能发生变化, 微生物活动受到抑制, 有害物质或其分解产物在土壤中逐渐积累通过“土壤→植物→人体”, 或通过“土壤→水→人体”间接被人体吸收, 就会危害人体健康。所以土壤污染是很重要的问题, 是环境问题当中的核心问题。由于土壤污染具有隐蔽性

The Review of Dust-Retention of Plant's Leaf

TANG Min-zhong, HAN Rui-ying, CHEN Jian

(School of Forestry and Biological Technology, Zhejiang Agriculture and Forest University, Lin'an, Zhejiang 311300)

Abstract: The inhalable particles in the air, including TSP, PM₁₀ and PM_{2.5} are major threat to living quality and health of urban people. To reduce healthy risk of urban people, controlling pollutant source is a matter of utmost urgency. Plant remedy has great potential in environmental rehabilitation, which has already arrived at a consensus. This paper depicted the general situation about dust-retention ability of plants' leaf from the following four aspects: classification of leaf anatomical, classification of leaf morphology, geometry classification of leaf morphology, other classification closely related to leaf morphology. To different species, adsorption to total suspending particles would be different. Thus, in order to discover economical and efficient methods of environmental improvement in the present, it is of great importance in comparing the purification capacity of urban green plants in different cities.

Keywords: particulate matter; dust retention of unit leaf area; tree species selection