

李元应,侯晓奎. 粉尘污染对郑州市典型绿化树种叶片生理生化特性的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(18):110-115.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.18.028

粉尘污染对郑州市典型绿化树种 叶片生理生化特性的影响

李元应, 侯晓奎

(黄河交通学院,河南焦作 454950)

摘要:以河南省郑州市城区道路中的典型绿化树种为试验材料(紫叶李、木槿、连翘、垂丝海棠、紫荆),连续3年研究和比较粉尘污染对不同绿化树种滞尘效应及生理特性的影响,为不同绿化树种在生态景观配置、选择适合的绿化树种、合理的城市绿化建设方面提供科学依据。结果表明:(1)不同绿化树种降尘粒径主要分布在2.5~100.0 μm之间,叶面降尘中颗粒物粒径集中分布在100.0 μm以下(占99%以上),降尘物主要为在大气中经一定距离漂移的总悬浮颗粒物(TSP,粒径≤100 μm);(2)不同绿化树种降尘物中细颗粒物(PM_{2.5},粒径≤2.5 μm)、可吸入颗粒物(PM₁₀,粒径≤10 μm)和TSP平均粒径均以连翘和垂丝海棠较高,木槿和紫荆相对较低;(3)不同绿化树种比叶质量(x)与叶片滞尘能力(y)之间的线性函数关系最佳,其拟合方程为 $y=0.04054x-0.89432$, $r^2=0.9730$ ($P<0.01$),表明两者间存在明显的相关关系,即比叶质量较大的植物滞尘能力较强;(4)对于绿化树种叶片生理特性,不同绿化树种叶片比叶质量、叶面积指数、叶绿素a和b含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性和超氧化物歧化酶活性基本表现为连翘和垂丝海棠较高,木槿和紫荆相对较低;而丙二醛含量却表现为木槿和紫荆相对较高,连翘和垂丝海棠相对较低,由此表明连翘和垂丝海棠对粉尘污染具有较高的抗性;(5)相关性分析表明,郑州市绿化树种叶面降尘的粒径与叶片生理生化指标之间具有一定的相关性,绿化树种叶面降尘的粒径与叶片丙二醛含量呈显著或极显著负相关关系,绿化树种降尘物PM_{2.5}粒径主要依赖于叶片生理生化特性,绿化树种降尘物PM₁₀粒径主要依赖于比叶质量和叶面积指数。

关键词:粉尘污染;绿化树种;生理生化特性;郑州市

中图分类号: X513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)18-0110-06

大气污染已成为影响人类健康的主要环境危害之一,关

收稿日期:2016-04-18

作者简介:李元应(1977—),男,河南信阳人,讲师,研究方向为园林规划设计、植物景观等。E-mail:Leeyuanying@126.com。

通信作者:侯晓奎,讲师,研究方向为园艺设计、园林规划等。
E-mail:4127yulin@163.com。

组分与红茶品质的关系[J]. 茶叶科学,1990,10(2):59-64.

[19]程启坤. 茶叶品种适制性的的生化指标——酚氨比[J]. 中国茶叶,1983(1):38.

[20]宛晓春,黄继轸,沈生荣. 茶叶生物化学[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2008:248-252.

[21]张文锦,郭 专. 乌龙茶鲜叶酚氨比与品质的关系及其调控[J]. 茶叶科学简报,1993(4):4,13-16.

[22]严学兵,周 禾,王 堃,等. 披碱草属植物形态多样性及其主成分分析[J]. 草地学报,2005,13(2):111-116.

[23]徐雅静,汪远征. 主成分分析应用方法的改进[J]. 数学的实践与认识,2006,36(6):68-75.

[24]石 林. 聚类分析在茶树品种分类中的应用[J]. 中国茶叶,1988(3):15-17.

[25]林小端. 我国茶树特异资源研究进展[J]. 贵州茶叶,2008(2):1-5.

[26]钟 雷. 武夷名丛种质资源特征特性研究及筛选[D]. 福州:福建农林大学,2009.

系到人类长期的生存和发展,受到当今世界各国的普遍关注和重视^[1-2]。城市大气污染中的可吸入颗粒物已被公认为是对人体健康危害最大且表性最强的污染物,成分复杂且在环境空气中持续时间长、影响范围广,在城市发展进程中给人类带来了新的生存危机^[3-4]。粉尘污染对植物的损害作用表现在叶片上,长期负载的粉尘通过影响叶片的气体交换,降低其

[27]王小萍,唐晓波,王迎春,等. 52份茶树资源生化组分的表型多样性分析[J]. 茶叶科学,2012,32(2):129-134.

[28]陆锦时,魏芳华,李春华. 茶树品种主要化学成份与品质关系的研究[J]. 西南农业学报,1994,7(增刊1):1-5.

[29]堵源康,秦廷发,王子浩,等. 云南35份茶树良种生化成分多样性分析[J]. 西南大学学报(自然科学版),2013,35(10):36-41.

[30]刘声传,段学艺,赵华富,等. 贵州野生茶树种质资源生物多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(6):1255-1261.

[31]王飞权,冯 花,罗盛财,等. 武夷名丛“向天梅”夏暑红茶适制性研究[J]. 食品研究与开发,2013,34(15):51-55.

[32]钟兰馨,冯 花,罗盛财,等. 三种武夷名丛夏暑红茶适制性研究[J]. 黑龙江农业科学,2013(9):84-86.

[33]李建华,丁清平,陈元良,等. 夏秋茶的增值利用途径研究[J]. 中国茶叶加工,2009(3):20-21.

[34]李永章. 深度开发夏秋茶充分利用茶资源[J]. 茶叶,2007,33(1):46-47.

光合活性辐射,或者通过吸收额外的辐射增加叶片温度,减缓植物生长,甚至导致植物死亡^[5]。我国城市大气粉尘超标现象严重,对人类的健康造成了很大影响,同时也对植物造成了不可估量的损伤^[6]。河南省郑州市作为我国的大型城市,近年来经济迅猛发展,随着机动车辆数量的快速增长,大气污染已成为城市污染的主要问题,可吸入颗粒物中细颗粒的含量不断增加,城市空气混浊,雾日增加,严重威胁着城市居民的身体健康和城市生态环境^[7]。绿化树种作为城市生态环境建设的主体,是城市、自然和景观复合生态系统中具有重要自净功能的组成部分^[8-9]。绿化树种对大气中的粉尘、颗粒物有过滤、阻挡和吸附的作用,在改善生态环境、减少阳光辐射、增大空气湿度、净化空气、调节气候等方面起着“除污吐新”的作用,通过粗糙湿润的叶面和气孔及毛被等微观结构有效地滞留大气颗粒物,被称为城市粉尘过滤器^[10]。选择适合城市发展滞尘能力强的绿化树种,是城市绿地设计的基础,也是改善城市环境质量的重要保障^[11-12]。为建立良好生态循环的城市生态系统,迫切需要对绿化树种的滞尘效应及叶片生理特性进行系统、深入的研究。这不仅有助于深入理解大气颗粒物与植物相互作用的基本规律,而且拓宽了环境生物学的研究范畴,但必须采用新的研究思路和方法。从目前的研究结果来看,国内外对植物受粉尘污染后其生理生化指标变化规律的研究还相当缺乏^[11,13]。因此,笔者以河南省郑州市主要城区长期受粉尘污染的主要绿化树种(紫叶李、木槿、连翘、垂丝海棠、紫荆)为研究对象,连续 3 年研究城市道路中不同绿化树种滞尘量差异、生理和生化特性,为不同绿化树种在园林生态景观功能性植物的配置方面提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

郑州市地处河南省中部偏北地区,黄河中游的南岸(112°42′~114°14′E,34°16′~34°58′N),西依嵩山,北临黄河,东南部为广阔的黄淮平原。该区属暖温带大陆性季风气候,四季分明,依次呈现春季温暖少雨,夏季炎热多雨,秋季晴朗日照长,冬季寒冷多风的特点;年平均气温 14.4℃,极端最高温度 42.3℃,极端最低温度 -17.9℃,7 月份最热,平均气温 27.3℃,1 月份最冷,平均气温 0.2℃;年降水量 652.9 mm,多集中在夏季(6—8 月),占全年降水量的 52.3%。该地土壤类型较多,自西向东依次分布棕壤土、红黏土、褐土、潮褐土、潮土等,以褐土、潮土分布面积最大,分别占土壤面积的 64.4%、30.17%。20 世纪 80 年代中期,郑州市绿化覆盖面积居全国省会城市前列,为郑州市赢得了“绿城”的美誉;2000 年郑州市提出创建国家园林城市的目标,通过大规模地建造绿地工程,先后获得“河南省园林城市”“全国园林绿化先进城市”称号,2006 年正式成为“国家园林城市”。目前基本形成了形式多样、物种丰富、布局合理、与自然环境协调一致的园林绿化格局^[7]。

1.2 研究方法

2013—2015 年 10 月初,对郑州市建成区内主要公园绿地、道路绿地及各高校校园绿地等城市绿地进行实地调查,分别在郑州市不同街道雨后采集不同绿化树种叶片(紫叶李、木槿、连翘、垂丝海棠、紫荆),在同一时间采集叶片样本并测

定生长指标(现测株高和茎粗),采集叶片时带上聚乙烯塑料手套,分别从植株不同方向均匀采集上、中、下足够多的成熟叶片,将叶片小心封存于锥形瓶内,带回实验室处理,所有数据为 3 年的平均值。

1.3 测量指标

1.3.1 叶片滞尘量测定 植物叶片滞尘量的分析目前尚无统一的标准方法,本试验叶片滞尘量采用“干洗法”称量,将成熟叶片封存于装有蒸馏水的锥形瓶中,浸洗下叶片上的附着物,浸泡过程中要注意不断地搅拌,以保证尘粒充分融入水中,浸泡 2 h 后用毛刷冲洗,再次保证尘粒完全融入水中。用镊子将叶片小心夹出,用滤纸将浸洗液过滤,60℃下烘干 12 h 后称量,2 次称量之差(Δm)即为采集样品上所附着的降尘颗粒物的质量,夹出的叶片晾干后,叶面积测定仪测叶面积(A),即可得出叶面积滞尘量为 $\Delta m/A$ (g/m²)^[14]。

1.3.2 叶面尘粒径测定 新鲜植物叶片置于 65℃烘干至恒质量,称取 2 g 样品过 40 目筛,将 1.0 g 样品溶解于 300 mL 蒸馏水中,并使其充分扩散和溶解,粒度分析仪进行粒径分析,可吸入颗粒物(PM₁₀,粒径≤10 μm)、细颗粒物(PM_{2.5},粒径≤2.5 μm)和总悬浮颗粒物(TSP,粒径≤100 μm)浓度测定用微电脑激光粉尘仪^[15]。

1.3.3 生长指标的测定 叶面积应用数字图像处理技术测定(包括叶柄),比叶质量(SLW)=单位面积叶干质量/单位叶面积^[16]。

1.3.4 叶片生理指标的测定 选取植物叶片样品进行各项生理指标的测定,每项试验重复测定 3 次,植物叶片洗净后于 65℃烘箱中烘干,粉碎后过 1.5 mm 筛,除去叶脉研磨混合,以 80% 丙酮溶液浸提比色分析测定叶绿素 a、b 值;用考马斯亮蓝-G250 染色法测定可溶性蛋白含量;用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量;用氮蓝四唑(NBT)光化还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性;过氧化氢分解法测定过氧化氢酶(CAT)活性^[16]。

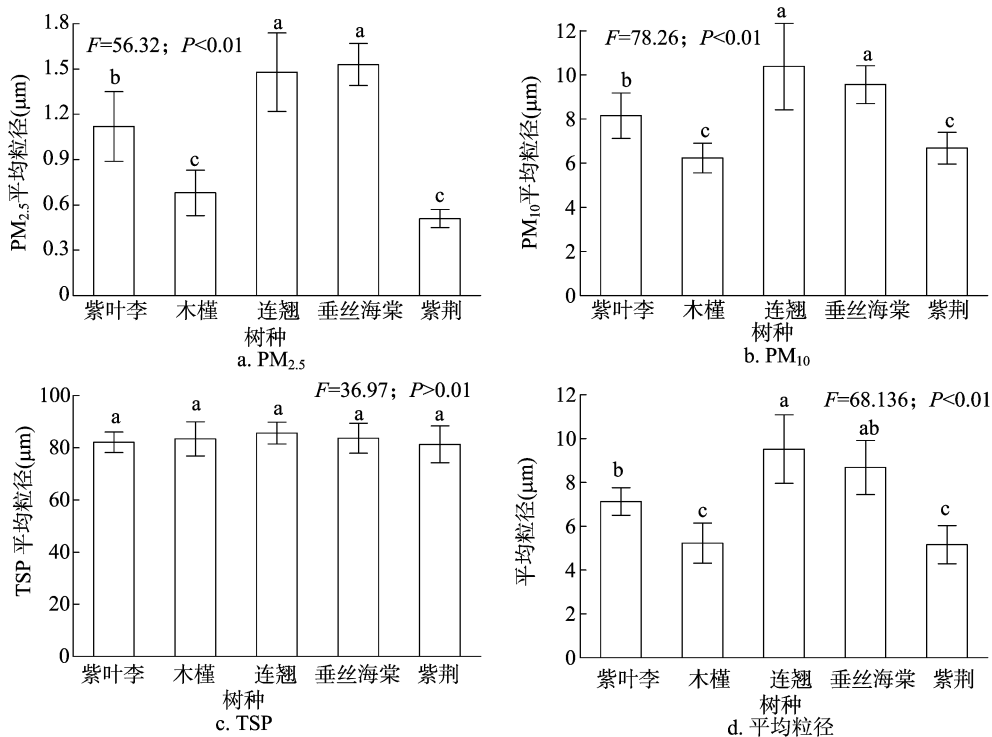
1.4 数据分析

统计分析:用 Excel 2010 进行数据的统计和整理,用 SPSS 21.0 进行方差分析和统计学检验,用 LSD 多重比较(显著水平设置 $\alpha = 0.05$),用单因素方差分析(One-Way ANOVA)比较其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 粉尘污染对绿化树种叶片叶面降尘粒径的影响

由图 1 可知,郑州市绿化树种降尘粒径主要分布在 2.5~100.0 μm 之间,叶面降尘中颗粒物粒径集中分布在 100.0 μm 以下(占 99% 以上),说明郑州市降尘物主要为在大气中经一定距离漂移的 TSP。一般认为,PM₁₀ 是危害人类健康的最主要颗粒物,而 PM_{2.5} 则是能直接进入人体肺部导致肺泡发炎的颗粒物。由图 1 可知,绿化树种降尘物中 PM_{2.5}、PM₁₀ 和 TSP 平均粒径均以连翘和垂丝海棠较高,木槿和紫荆相对较低。郑州市绿化树种降尘物 PM_{2.5} 平均粒径变化范围在 0.68~1.53 μm 之间,连翘和垂丝海棠 PM_{2.5} 平均粒径差异不显著,木槿和紫荆 PM_{2.5} 平均粒径差异不显著,二者显著低于其他绿化树种($P < 0.05$)。郑州市绿化树种降尘物 PM₁₀ 平



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。图3、图4、图5同

图1 粉尘污染对绿化树种叶片叶面降尘粒径的影响

均粒径范围在 $6.23 \sim 10.38 \mu\text{m}$ 之间,其中连翘和垂丝海棠 PM_{10} 平均粒径差异不显著,木槿和紫荆 PM_{10} 平均粒径差异不显著,二者显著低于其他绿化树种($P<0.05$)。郑州市绿化树种降尘物 TSP 平均粒径变化范围在 $81.3 \sim 85.6 \mu\text{m}$ 之间,其中不同绿化树种降尘物 TSP 平均粒径差异均不显著。郑州市绿化树种降尘物平均粒径变化范围在 $5.16 \sim 9.52 \mu\text{m}$ 之间,连翘和垂丝海棠平均粒径差异不显著,木槿和紫荆平均粒径差异不显著,二者显著低于其他绿化树种($P<0.05$)。

2.2 绿化树种叶片比叶质量与滞尘量之间的相关关系

对郑州市绿化树种叶面特征的分析表明,叶面特征明显影响叶片滞尘能力(图2),为进一步探讨其影响因素,对比叶质量与滞尘能力的关系进行研究。比叶质量是单位面积的叶片干质量,反映叶片质地的厚薄与轻重,也是表征叶片特性的一种指标,对3种植物比叶质量与滞尘能力进行相关性分析,拟合的多种常用曲线中,比叶质量(x)与叶片滞尘能力(y)之间的线性函数关系最佳,其拟合方程为 $y = 0.04054x - 0.89432$, $r^2 = 0.9730$ ($P<0.01$),表明两者间存在明显的相关关系,即比叶质量较大的植物滞尘量较大。

2.3 粉尘污染对绿化树种叶片生长属性的影响

由图3可知,绿化树种叶片比叶质量和叶面积指数以连翘和垂丝海棠较高,木槿和紫荆相对较低。郑州市绿化树种叶面积指数变化范围在 $5.20 \sim 7.30$ 之间,紫叶李和垂丝海棠叶面积指数差异不显著,木槿和紫荆叶面积指数差异不显著,二者显著低于其他绿化树种($P<0.05$);郑州市绿化树种降尘物比叶质量范围在 $6.23 \sim 10.38 \text{ mg}/\text{cm}^2$ 之间,其中连翘和垂丝海棠比叶质量差异不显著,木槿和紫荆比叶质量差异不显著,二者显著低于其他绿化树种($P<0.05$)。

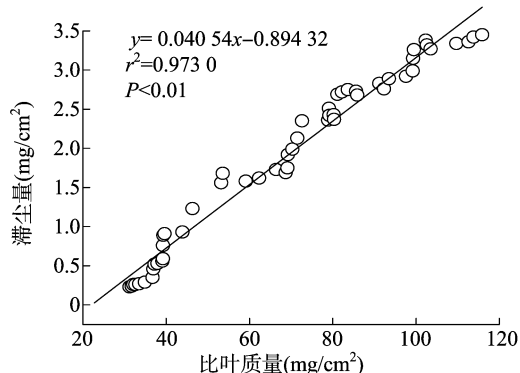


图2 绿化树种叶片比叶质量与滞尘量之间的相关关系

2.4 粉尘污染对绿化树种叶片生理特性的影响

由图4可知,绿化树种叶片叶绿素a和叶绿素b含量、可溶性蛋白和可溶性糖含量整体上以连翘和垂丝海棠较高,木槿和紫荆相对较低;郑州市绿化树种叶片叶绿素a含量变化范围在 $1.56 \sim 3.31 \text{ mg}/\text{g}$ 之间,连翘和垂丝海棠叶片叶绿素a含量差异不显著,木槿和紫荆叶片叶绿素a含量差异不显著,二者显著低于其他绿化树种($P<0.05$)。郑州市绿化树种叶片叶绿素b含量范围在 $1.15 \sim 2.13 \text{ mg}/\text{g}$ 之间,其中垂丝海棠和紫叶李叶片叶绿素b含量差异不显著,连翘、木槿和紫荆叶片叶绿素b含量差异不显著。郑州市绿化树种叶片可溶性蛋白含量变化范围在 $95.2 \sim 135.2 \mu\text{g}/\text{g}$ 之间,其中连翘和垂丝海棠叶片可溶性蛋白含量差异不显著,木槿和紫荆叶片可溶性蛋白含量差异不显著,二者显著低于其他绿化树种($P<0.05$)。郑州市绿化树种叶片可溶性糖含量变化范围在 $0.21\% \sim 0.41\%$ 之间,连翘和垂丝海棠叶片可溶性糖含量差异不显著。

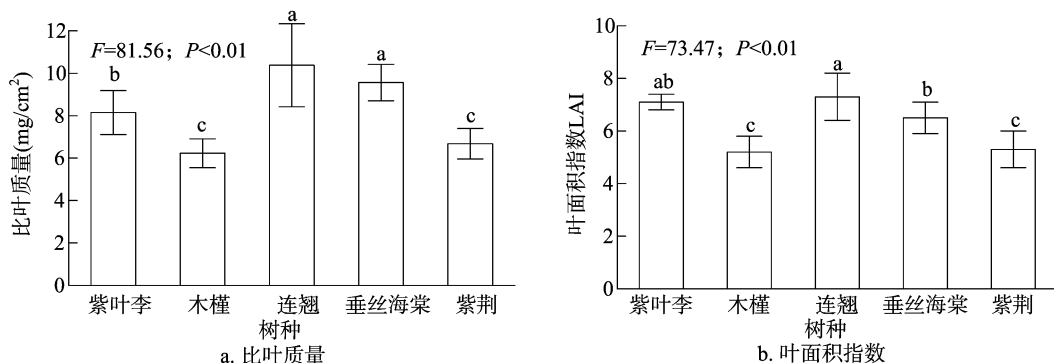


图3 粉尘污染对绿化树种叶片生长属性的影响

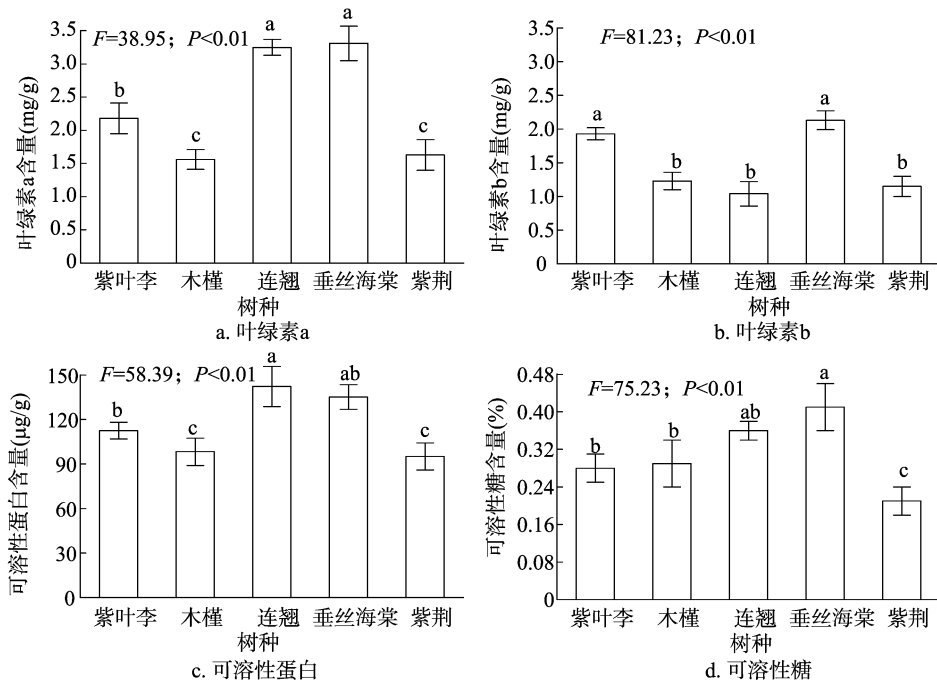


图4 粉尘污染对绿化树种叶片生理特性的影响

2.5 粉尘污染对绿化树种叶片生化酶的影响

由图 5 可知,绿化树种叶片过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性和超氧化物歧化酶活性均以连翘和垂丝海棠较高,木槿和紫荆相对较低;而丙二醛含量却表现为木槿和紫荆相对较高,连翘和垂丝海棠相对较低。郑州市绿化树种叶片丙二醛含量变化范围在 4.15 ~ 8.56 mg/L 之间,连翘和垂丝海棠叶片丙二醛含量差异不显著,木槿和紫荆叶片丙二醛含量差异不显著,二者显著高于其他绿化树种 ($P < 0.05$)。郑州市绿化树种叶片过氧化氢酶活性范围在 6.01 ~ 8.14 mg/(g · min) 之间,其中连翘和垂丝海棠叶片过氧化氢酶活性差异不显著,木槿和紫荆叶片过氧化氢酶活性差异不显著,二者显著低于其他绿化树种 ($P < 0.05$)。郑州市绿化树种叶片过氧化物酶活性变化范围在 5.36 ~ 8.63 mg/(g · min) 之间,其中连翘和垂丝海棠叶片过氧化物酶活性差异不显著,木槿和紫荆叶片过氧化物酶活性差异不显著。郑州市绿化树种叶片超氧化物歧化酶活性变化范围在 1.03 ~ 3.15 mg/(g · min) 之间,连翘和垂丝海棠超氧化物歧化酶活性差异不显著,木槿和紫荆超氧化物歧化酶活性差异不显著,二者显著低于其他绿化树种

($P < 0.05$)。

2.6 绿化树种叶面降尘的粒径与叶片生理生化指标之间的相关性

由表 1 可知,绿化树种叶面降尘的粒径与叶片生理生化指标之间具有很好的相关性,郑州市绿化树种降尘物 $PM_{2.5}$ 粒径与叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、可溶性糖含量、过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性和超氧化物歧化酶活性呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$);与比叶质量和可溶性蛋白含量呈显著正相关关系 ($P < 0.05$);与丙二醛含量呈显著负相关关系 ($P < 0.05$)。绿化树种降尘物 PM_{10} 粒径与比叶质量、叶面积指数呈极显著正相关关系 ($P < 0.05$);与可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和过氧化物酶活性呈显著正相关关系 ($P < 0.05$);与丙二醛含量呈极显著负相关 ($P < 0.01$) 关系。绿化树种降尘物 TSP 粒径与比叶质量、叶面积指数呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$);与叶绿素 a 含量、过氧化氢酶活性和过氧化物酶活性呈显著正相关关系 ($P < 0.05$);与丙二醛含量呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$)。绿化树种降尘物平均粒径与比叶质量、叶面积指数呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$);与叶

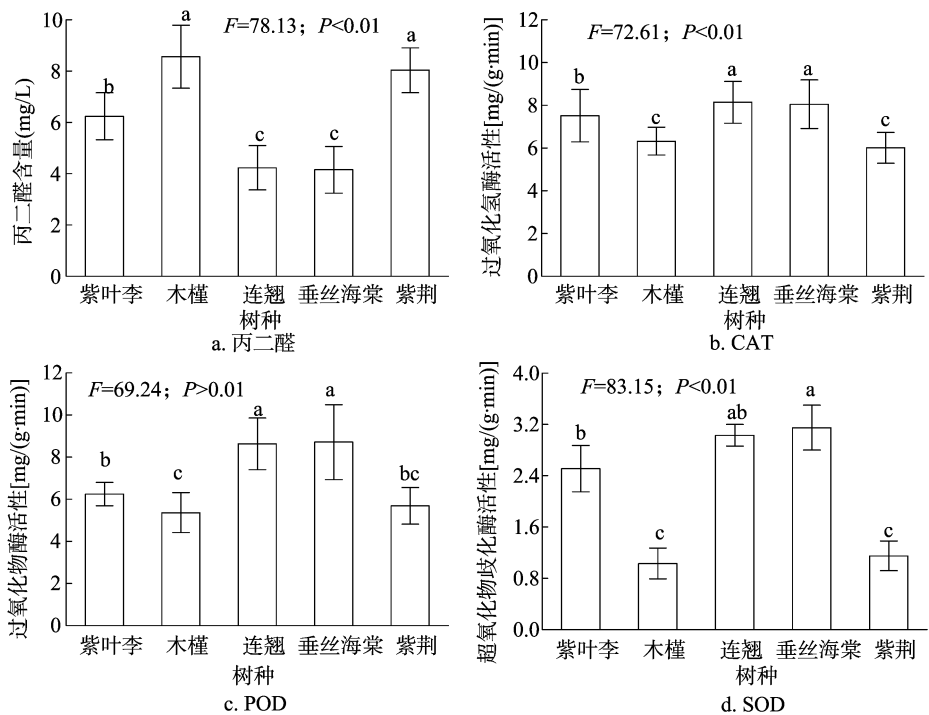


图5 粉尘污染对绿化树种叶片生化酶的影响

表1 绿化树种叶面降尘的粒径与叶片生理生化指标之间的相关性

项目	相关系数			
	PM _{2.5} 平均粒径	PM ₁₀ 平均粒径	TSP 平均粒径	平均粒径
比叶质量	0.512 *	0.856 **	0.897 **	0.814 **
叶面积指数	0.384	0.742 **	0.803 **	0.755 **
叶绿素 a 含量	0.736 **	0.423	0.607 *	0.413
叶绿素 b 含量	0.803 **	0.369	0.247	0.564 *
可溶性蛋白含量	0.569 *	0.523 *	0.306	0.358
可溶性糖含量	0.708 **	0.547 *	0.478	0.602 *
丙二醛含量	-0.566 *	-0.756 **	-0.812 **	-0.624 *
过氧化氢酶活性	0.814 **	0.142	0.526 *	0.544 *
过氧化物酶活性	0.778 **	0.532 *	0.541 *	0.387
超氧化物歧化酶活性	0.736 **	0.358	0.389	0.256

注：“**”表示在 0.01 水平上显著相关（双尾），“*”表示在 0.05 水平上显著相关（双尾）。

叶绿素 b 含量、可溶性糖含量和过氧化氢酶活性呈显著正相关关系 ($P < 0.05$)；与丙二醛含量呈显著负相关关系 ($P < 0.05$)。以上分析结果表明，郑州市绿化树种叶面降尘的粒径与叶片生理生化指标之间具有一定的相关性，绿化树种叶面降尘的粒径与叶片丙二醛含量呈显著或极显著负相关，绿化树种降尘物 $PM_{2.5}$ 粒径主要依赖于叶片生理生化特性，绿化树种降尘物 PM_{10} 粒径主要依赖于比叶质量和叶面积指数。

3 结论与讨论

作为空气质量监测的重要方法，绿化树种叶片滞尘量在一定程度上反映了空气中的颗粒物含量^[17-18]。本研究分别对河南省郑州市不同绿化树种滞尘量进行测定，大气颗粒物通过干、湿沉降到植物的叶表面，不同绿化树种叶片之间细微结构的差异，导致其叶片的支持和固定作用效果也不相同，受

单叶面积大小、叶片组织结构、树冠密集度、整株叶量等因子制约，导致各绿化树种滞尘量和滞尘效应不尽一致^[19-20]。本研究中绿化树种降尘物中 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 TSP 平均粒径均以连翘和垂丝海棠较高，木槿和紫荆相对较低，说明叶面降尘与所处地区的环境状况有一定关系，不同功能区滞尘量与叶面降尘可吸入颗粒物百分比变化不一致，可能是因为各样点大气环境中颗粒物组分不同。由此可知，连翘和垂丝海棠可以作为滞尘能力优良的城市绿化树种；同时， PM_{10} 在不同树种之间均占了一定比例，说明郑州市不同绿化树种均有滞留可吸入颗粒物、改善环境质量的作用。

不同绿化树种的生理代谢和形态建成的变化，导致叶面积指数和比叶质量呈现不同的变化规律^[19-20]。植物生长发育受叶片光合特性、生理代谢和光合产物代谢的共同影响，叶面积指数是植物冠层生长状况的指标，叶面积指数较大有利于捕获更多的光能^[21]。综合比较可知，连翘和垂丝海棠更能通过增加叶面积指数和光合作用进而影响其自身的生长。比叶质量反映叶片质地的厚薄与轻重，比叶质量小，则叶片较轻且质薄，容易随风抖动，影响叶面滞尘的稳定性，致使植物滞尘受外界环境（车辆行驶、气流和风）影响增大，滞尘能力弱，因此可将比叶质量作为比较选取滞尘植物的指标之一。本研究，比叶质量 (x) 与叶片滞尘能力 (y) 之间的线性函数关系最佳 ($P < 0.01$)，表明两者间存在明显的相关关系，即比叶质量较大的植物滞尘能力较强。由此可知，比叶质量的大小与滞尘能力的大小趋势表现基本一致，这与前人的研究结果^[21-22]相一致。

叶绿素作为植物光合作用的物质基础和光敏剂，在光合作用过程中起着接受和转换能量的作用，可溶性蛋白和可溶性糖中包含一些代谢的酶，其含量的多少与植株体内的代谢强度有关^[19,23]。有研究表明，植物叶片受到大气污染的影响

响后,其叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b 均会受到破坏而分解,致使叶绿素含量下降。本研究中不同绿化树种间可溶性蛋白、可溶性糖、叶绿素 a 和叶绿素 b 含量基本以连翘和垂丝海棠较高,木槿和紫荆相对较低,相比较可知,连翘和垂丝海棠更能利用光能和转化光能,为光合补偿生长提供物质和能量基础。粉尘污染是不同树种叶片中可溶性糖含量上升的原因,粉尘污染较轻时,植物积累大量的可溶性糖转化成其他物质,来抵抗粉尘污染,各种酶和叶绿素遭到破坏,导致叶片中叶绿素含量下降,这些影响机制还缺乏生物学及生理学上的解释^[20]。

植物在逆境下遭受伤害,往往发生膜脂过氧化作用,丙二醛是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量高低和质膜透性的大小都是膜脂过氧化强弱和质膜破坏程度的重要指标^[24-26]。在正常生长条件下,植物体内活性氧的产生和清除处于平衡状态,当处于各种逆境胁迫时,植物体内活性氧产生和清除的平衡受到破坏,从而有利于体内活性氧的产生,所积累的活性氧引发了膜脂过氧化,丙二醛积累越多说明植物受伤害越严重,植物所处环境越恶劣。本研究中不同绿化树种叶片丙二醛含量呈相反的变化趋势,说明污染胁迫下植物体内丙二醛含量会不断累积,支持了前人的研究结果^[26]。相关性分析结果表明,郑州市绿化树种叶面降尘的粒径与叶片生理生化指标之间具有一定的相关性,绿化树种叶面降尘的粒径与叶片丙二醛含量呈显著或极显著负相关,绿化树种降尘物 PM_{2.5} 平均粒径主要依赖于叶片生理生化特性,绿化树种降尘物 PM₁₀ 平均粒径主要依赖于比叶质量和叶面积指数。

参考文献:

- [1] Shotyk W, Belland R, Duke J, et al. Response to comment on “sphagnum mosses from 21 ombrotrophic bogs in the Athabasca bituminous sands region show no significant atmospheric contamination of ‘heavy metals’” [J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49 (10): 6354 – 6357.
- [2] Stronck N A, Niedermann S. Atmospheric contamination of the primary Ne and Ar signal in mid – ocean ridge basalts and its implications for ocean crust formation [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2016, 172: 306 – 321.
- [3] Martins R S L, Abessa D M S, Fornaro A, et al. Rainwater toxicity and contamination study from São Paulo metropolitan region, Brazil [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2014, 186 (2): 1183 – 1194.
- [4] Hernandez L, Probst A, Probst J L, et al. Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination [J]. Science of the Total Environment, 2003, 312 (1): 195 – 219.
- [5] Faiz Y, Tufail M, Javed M T, et al. Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan [J]. Microchemical Journal, 2009, 92 (2): 186 – 192.
- [6] Kim J, Yoon S C, Jefferson A, et al. Aerosol hygroscopic properties during Asian dust, pollution, and biomass burning episodes at Gosan, Korea in April 2001 [J]. Atmospheric Environment, 2006, 40 (8): 1550 – 1560.
- [7] 刘和平, 代佩玲, 张青珍, 等. 郑州市大气能见度变化特征及与空气污染的关系 [J]. 气象与环境科学, 2008, 31 (4): 44 – 46.
- [8] Zhou X H, Liu X Q, Hu X Y, et al. The drought tolerance characteristics of the main afforestation trees in Northwest Hubei province [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2004, 29 (1): 67 – 70.
- [9] Chen C R, Condon L M, Xu Z H. Impacts of grassland afforestation with coniferous trees on soil phosphorus dynamics and associated microbial processes: a review [J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255 (3): 396 – 409.
- [10] Khamzina A, Lamers J P A, Worbes M, et al. Assessing the potential of trees for afforestation of degraded landscapes in the Aral Sea Basin of Uzbekistan [J]. Agroforestry Systems, 2006, 66 (2): 129 – 141.
- [11] Kretinin V M, Selyanina Z M. Dust retention by tree and shrub leaves and its accumulation in light chestnut soils under forest shelterbelts [J]. Eurasian Soil Science, 2006, 39 (3): 334 – 338.
- [12] 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.
- [13] Liu L, Guan D, Peart M R, et al. The dust retention capacities of urban vegetation – a case study of Guangzhou, South China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2013, 20 (9): 6601 – 6610.
- [14] Evans M R, Stamps R H. Growth of bedding plants in *Sphagnum* peat and coir dust – based substrates [J]. Journal of Environmental Horticulture, 1996, 14 (4): 187 – 190.
- [15] Meerow A W. Growth of two tropical foliage plants using coir dust as a container medium amendment [J]. Hort Technology, 1995, 5 (3): 237 – 239.
- [16] Ashiuchi M, Nawa C, Kamei T, et al. Physiological and biochemical characteristics of poly γ – glutamate synthetase complex of *Bacillus subtilis* [J]. European Journal of Biochemistry, 2001, 268 (20): 5321 – 5328.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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, 2007.
- [20] 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.
- [21] 黄慧娟, 袁玉欣, 杜炳新, 等. 保定 5 种主要绿化树种叶片滞尘对气体交换特征的影响 [J]. 西北林学院学报, 2008, 23 (6): 50 – 53.
- [22] 刘任涛, 毕润成, 赵哈林. 中国北方典型污染城市主要绿化树种的滞尘效应 [J]. 生态环境, 2008, 17 (5): 1879 – 1886.
- [23] 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.
- [24] 孟衡玲, 张薇, 卢丙越, 等. 金银花幼苗对盐胁迫的生理响应 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43 (4): 247 – 249.
- [25] 李亦松, 孙艳, 王俊刚, 等. 苯唑草酮对苜蓿菜叶片叶绿素、丙二醛、可溶性糖含量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43 (6): 135 – 136, 252.
- [26] 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.