

郭俊刚. 粉尘污染对不同园林植物生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 231–235.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.01.068

# 粉尘污染对不同园林植物生理特性的影响

郭俊刚

(包头轻工职业技术学院, 内蒙古包头 014035)

**摘要:**以内蒙古包头市乔木(皂荚和山楂)、灌木(丁香和榆叶梅)、草本(石竹)为试验材料,连续2年(2013—2014年)在不同季节研究了粉尘污染对不同园林植物滞尘效应及生理特性的影响,并探讨了不同园林植物滞尘量及滞尘能力大小。结果表明:(1)粉尘污染条件下,不同园林植物滞尘效应存在显著差异( $P < 0.05$ ),滞尘效应大小依次表现为皂荚 > 丁香 > 榆叶梅 > 山楂 > 石竹;(2)不同园林植物降尘粒径主要分布在  $2.5 \sim 100 \mu\text{m}$  之间,叶面降尘中颗粒物粒径集中分布在  $100 \mu\text{m}$  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;(3)不同园林植物叶片氮含量依次为丁香 > 皂荚 > 榆叶梅 > 山楂 > 石竹,磷含量依次为山楂 > 榆叶梅 > 石竹 > 皂荚 > 丁香;(4)不同园林植物叶片可溶性糖含量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量均表现为皂荚 > 丁香 > 山楂 > 榆叶梅 > 石竹,与植物滞尘能力变化趋势相一致,脯氨酸、丙二醛含量变化趋势基本一致;(5)粉尘对不同园林植物具有不同程度的激发作用,激发作用基本表现为前 3 d 光量子产率和最大光化学量子产量随时间的增加而增加。

**关键词:**内蒙古;粉尘污染;园林植物;生理特性

**中图分类号:** X513      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2016)01-0231-05

大气污染已成为影响人类健康的主要环境危害之一,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<sup>[1-2]</sup>。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,降低其光合活性辐射,或者通过吸收额外的辐射增加叶片的温度,减缓植物生长,甚至导致植物的死亡等<sup>[3-4]</sup>。内蒙古包头市作为我国的内陆型开发城市,近年来经济迅猛发展,随着机动车辆的快速增长,大气污染已经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,严重威胁着人类的身体健康,城市的生态环境以及植物的生存发展<sup>[5-7]</sup>。

园林植物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<sup>[8-9]</sup>。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,可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,经过叶表面的生理作用,产生复杂的生理生态响应,被称为城市粉尘过滤器<sup>[10]</sup>。不同植物因其本身的生物学特性的差异,滞尘能力及其生理特性也有较大的差异,选择适合城市发展的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<sup>[11]</sup>。为建立良好的生态循环的城市生态系统,迫切需要对园林植物的滞尘效应及叶片生理特性进行系统、深入的研究<sup>[12]</sup>。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研究方法<sup>[11]</sup>。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,关于叶绿素荧光响应的研究在不同园林树种之间开展的研究也相对较少<sup>[13-14]</sup>。鉴于此,笔者以内蒙古包头市主要城区长期受粉尘污染的主要园林植物(草本、灌木、乔木)为研究对象,连续2年(2013—2014年)探讨了城市道路中5种不同园林植物——乔木(皂荚和山楂)、灌木(丁香和榆叶梅)、草本(石竹)滞尘量差异、生理特性和叶绿素荧光参数的变化规律等,为不同园林植物在园林生态景观功能性植物的配置方面提供科学依据,进一步为城市植物与环境污染相互关系的深入研究提供新的研究思路和研究方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

内蒙古自治区位于我国北部( $97^{\circ}10' \sim 126^{\circ}02'E$ ,  $37^{\circ}30' \sim 53^{\circ}20'N$ ),总面积  $110 \text{万 km}^2$ ,约占全国总土地面积的  $1/8$ ,地貌类型沿中山山地、低山丘陵、高平原等依次过渡,东部地区的地形以大兴安岭山地为“轴”向东西两侧展开,向西依次出现中山、低山、高原地貌,向东出现中山、低山、丘陵、平原地貌。包头市地处中纬度,属于半干旱、中温带大陆性气候,是极地和热带气团交接地带,冷暖、干湿表征的四季变化特别明显,冬季有明显寒潮,1月极端气温达  $-30 \sim -40^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  有效积温为  $1\,300 \sim 3\,000^{\circ}\text{C}$ ,年平均气温  $8^{\circ}\text{C}$ ,年均日照时间  $1\,523 \text{h}$ ,无霜期  $295 \text{d}$ ,降水多集中于夏季,自东向西递减,年降水量  $50 \sim 500 \text{mm}$ ,并且多雨高温同步,局部地区受地方性水热条件的影响,表现出隐域性土壤分布的特征,土壤类型较多,有黑土、黑钙土、栗钙土、棕漠土、灰漠土分布,湿度较大,地势差异较为悬殊,为多种园林植物生长提供了有利的环境生活条件。园林植物种类繁多,可开发利用的园林观赏植物资源丰富,据不完全统计,内蒙古的种子植物及裸子植

收稿日期:2015-07-18

作者简介:郭俊刚(1978—),男,内蒙古包头人,硕士,讲师,从事城市环境监测与治理研究。E-mail: jiangang\_guo@163.com。

物共 2 434 种,它们分别属于 128 科 663 属,与全国植物科属种数相比,科占 38.3%,属占 21.5%,种占 9.6%,足以说明内蒙古植物区系成分的丰富。包头市园林植物约有 48 科 105 属 278 余种(含变种、变型和亚种),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。主要可以分为:乔木类(蔷薇科、豆科、木樨科、椴树科、榆科等)、灌木类(蔷薇科、木樨科、忍冬科、虎耳草科、茄科等)、草本类(禾本科、芍药科、景天科、鸢尾科、葡萄科等)。而近年来包头市通过积极推行园林绿化,园林覆盖率不断提高,现已形成以观赏绿地和成片防护林为中心、道路绿带为骨架的园林系统,基本形成了形式多样、物种丰富、布局合理,与自然环境基本相一致的园林格局。

1.2 试验材料及方法

分别于 2013—2014 年 3 月初(春)、5 月初(夏)、8 月初(秋)和 11 月初(冬)在包头市不同街道雨后采集乔木(皂荚和山楂)、灌木(丁香和榆叶梅)、草本(石竹)新鲜叶片,每 10 d 同一时间采集 1 次样本,采样时带上聚乙烯塑料手套,分别从不同方向均匀采集足够多的成熟叶片,样品选择能充分接受粉尘的植物叶片,将叶片小心封存于锥形瓶内,带回实验室,比较 5 种不同园林植物滞尘差异及生理特性,所有数据为 2013—2014 年的平均值。

1.2.1 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,浸泡过程中注意要不断地搅拌,以保证尘粒充分进入水中,浸泡 2 h 毛刷冲洗,再次保证尘粒完全进入水中。用镊子将叶片小心夹出,滤纸将浸洗液过滤,60℃下烘干 12 h 后称质量,2 次称质量之差( $m$ ,g),即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,采用叶面积测定仪测叶面积( $A$ , $m^2$ ),即可得出叶面积滞尘量,公式为:滞尘量= $m/A$ <sup>[15]</sup>。

1.2.2 叶面尘粒径测定 将新鲜植物叶片置于 65℃烘干至恒质量,称取 2 g 样品过 40 目筛,取 1.0 g 溶解于 300 mL 蒸馏水,并使其充分扩散和溶解,采用粒度分析仪进行粒径分析,PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和总悬浮颗粒物(total suspended particulate, TSP)浓度测定用微电脑激光粉尘仪<sup>[16]</sup>。

1.2.3 叶片生理指标的测定 将上述植物新鲜叶片洗净,于 65℃烘箱烘干,粉碎后过 1.5 mm 筛,用凯氏定氮法测定叶片全氮含量,钼钒黄吸光度法测定叶片全磷含量<sup>[17]</sup>。除去叶脉研磨混合,用 80% 丙酮溶液浸提测定叶绿素 a、叶绿素 b 含量;考马斯亮蓝—G250 染色法测定可溶性蛋白含量;用蒽酮比色法测定可溶性糖含量;用茚三酮比色法测定游离脯氨酸含量;用硫代巴比妥酸法测定丙二醛含量<sup>[17]</sup>。

1.2.4 叶绿素荧光的测定 叶绿素荧光的测定采用 OS5—FL 脉冲调制荧光仪(pulse modulation fluorometer),各树种选择健康度一致的未蒙尘、24h 蒙尘和长期蒙尘叶片 20 张,每个测定 3 个重复,测定其各项叶绿素荧光参数及诱导曲线,利用诱导曲线分析植物光化学效率。植物发出的荧光可分为性质不同的 2 个部分:固定荧光( $F_o$ )、可变荧光( $F_v$ )。

$F_o$ :固定荧光或初始荧光产量,也称基础荧光。代表不参与 PS II 光化学反应的光能辐射部分,是 PS II 反应中心处于完全开放时的荧光产量,它与叶绿素浓度有关; $F_v$ :可变荧光产

量,代表可参与 PS II 光化学反应的光能辐射部分,反映了 PS II 原初电子受体 QA 的还原情况; $F_m$ :最大荧光产量,是 PS II 反应中心处于完全关闭时的荧光产量,反映通过 PS II 的电子传递情况。通常叶片经暗适应 20 min 后测得, $F_m = F_o + F_v$ ; $F_v/F_m$ :最大光化学量子产量,反映 PS II 反应中心内禀光能转换效率,叶暗适应 20 min 后测得。在正常条件下该参数变化极小,不受物种和生长条件的影响,逆境下该参数明显下降。 $F_v'/F_m'$ ( $yeild$ ):实际光化学量子产量,反映 PSII 反应中心在部分关闭情况下的实际原初光能捕获效率,叶片不经过暗适应在光下直接测定。

1.3 数据分析

统计分析:用 Excel 2007 进行数据的统计和整理,SPSS 21.0 进行方差分析和统计学检验,用 LSD 多重比较( $P < 0.05$ 表示显著水平)、单因素方差分析(One-way ANOVA)比较差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同园林植物滞尘能力比较

植物滞尘能力指单位叶面积单位时间中滞留粉尘量,本研究分别对内蒙古包头市不同园林植物全年滞尘量进行测定,比较不同园林植物滞尘能力大小。由表 1 可知,不同植物滞尘能力具有显著差异,植物滞尘量依次表现为皂荚>丁香>山楂>榆叶梅>石竹,不同园林植物滞尘量差异均显著( $P < 0.05$ ),滞尘量最大的是皂荚,其滞尘量达 916.61 g/年,丁香次之,其滞尘量达 854.27 g/年,榆叶梅、石竹滞尘量分别仅为 560.22、516.50 g/年。皂荚的滞尘量约是石竹的 2 倍,表明不同植物植株滞尘量差异较大。

表 1 不同园林植物滞尘能力比较

植物	年平均滞尘量 [g/(m <sup>2</sup> ·年)]	单株总叶面积 (m <sup>2</sup> )	单株滞尘量 (g/年)	排序
山楂	1.58 ± 0.32b	415.78 ± 23.89c	656.83 ± 62.37c	3
皂荚	1.63 ± 0.56a	562.34 ± 36.45b	916.61 ± 73.21a	1
丁香	1.43 ± 0.44c	597.39 ± 53.78a	854.27 ± 58.96b	2
榆叶梅	1.31 ± 0.17d	427.65 ± 43.21c	560.22 ± 66.37d	4
石竹	1.45 ± 0.29c	356.21 ± 55.82d	516.50 ± 52.07e	5

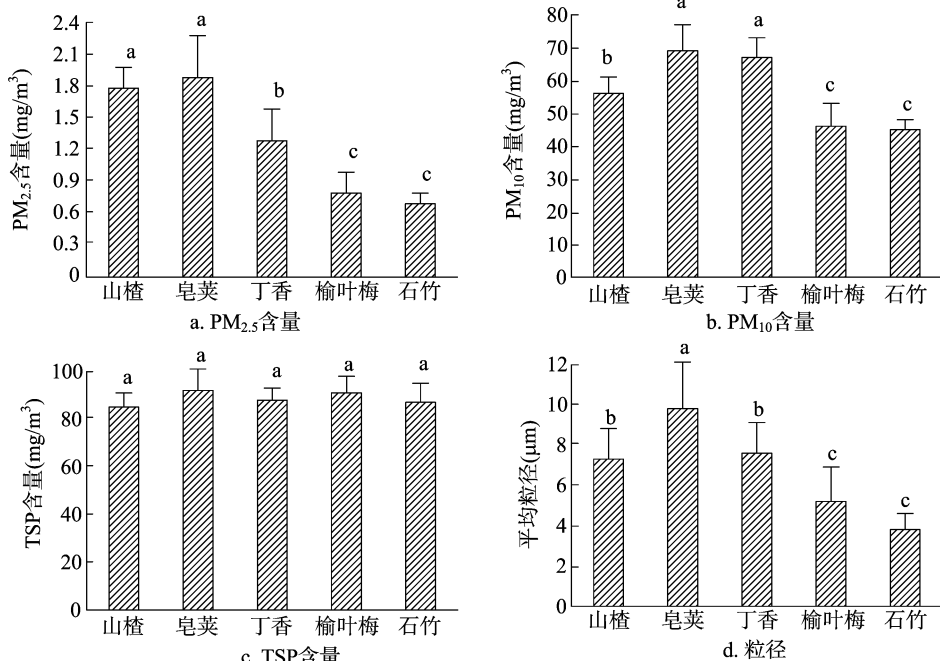
注:同列数据后标有不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下表同。

2.2 不同园林植物叶面降尘粒径与含量

内蒙古包头市不同园林植物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 μm 以下(占 99% 以上),说明内蒙古包头市降尘物主要为在大气中经一定距离漂移的 TSP。一般认为,PM<sub>10</sub>(粒径≤10 μm)是危害人类健康的最主要颗粒物,而 PM<sub>2.5</sub>(粒径≤2.5 μm)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,不同园林植物降尘物中 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、TSP 相对含量均以皂荚最高,其中植物降尘物中 PM<sub>2.5</sub>含量大小依次表现为皂荚>山楂>丁香>榆叶梅>石竹,皂荚和山楂 PM<sub>2.5</sub>含量差异不显著;植物降尘物中 PM<sub>10</sub>含量大小依次表现为皂荚>丁香>山楂>榆叶梅>石竹,皂荚和丁香 PM<sub>10</sub>含量差异不显著;物降尘物中 TSP 含量大小依次表现为皂荚>丁香>山楂>榆叶梅>石竹,不同植物 TSP 含量差异均不显著;不同植物降尘物粒径

大小依次表现为皂荚 > 丁香 > 山楂 > 榆叶梅 > 石竹, 山楂和丁香降尘物粒径差异并不显著; 不同园林植物降尘物  $PM_{2.5}$  范围

在  $0.8 \sim 1.9 \text{ mg/m}^3$  之间,  $PM_{10}$  范围在  $45 \sim 69 \text{ mg/m}^3$  之间, TSP 范围在  $85 \sim 92 \text{ mg/m}^3$  之间, 平均粒径范围在  $3.8 \sim 9.8 \mu\text{m}$  之间。



图中同组数据间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下图同

图1 不同园林植物叶面降尘的粒径与含量分布

### 2.3 不同园林植物叶片氮、磷含量

由图 2 可知, 不同园林植物叶片氮含量变化范围在  $24.1 \sim 29.3 \text{ mg/kg}$  之间, 大小依次为丁香 > 皂荚 > 榆叶梅 > 山楂 > 石竹, 其中丁香叶片氮含量显著高于其他园林植物 ( $P < 0.05$ ), 皂荚、榆叶梅叶片氮含量差异不显著, 山楂、石竹叶片氮含量差异不显著; 不同园林植物叶片磷含量变化范围在  $1.2 \sim 1.8 \text{ mg/kg}$  之间, 大小依次为山楂 > 榆叶梅 > 石竹 > 皂荚 > 丁香, 其中山楂叶片磷含量显著高于丁香 ( $P < 0.05$ ), 但与其他植物叶片磷含量差异不显著; 不同园林植物叶片氮磷比变化范围在  $13.4 \sim 24.4$  之间, 大小依次为丁香 > 皂荚 > 石竹 > 榆叶梅 > 山楂, 丁香、皂荚叶片氮磷比显著高于其他园林植物 ( $P < 0.05$ ), 榆叶梅、石竹叶片氮磷比差异不显著, 山楂叶片氮磷比显著低于其他园林植物 ( $P < 0.05$ )。

### 2.4 不同园林植物叶片生理指标

由表 2 可知, 不同园林植物可溶性蛋白含量变化范围在  $105.38 \sim 135.89 \mu\text{g/g}$ , 可溶性糖含量变化范围在  $0.09\% \sim 0.32\%$ , 叶绿素 a 含量变化范围在  $1.27 \sim 3.97 \text{ mg/g}$ , 叶绿素 b 含量变化范围在  $0.78 \sim 1.95 \text{ mg/g}$ , 脯氨酸含量变化范围在  $5.23 \sim 9.26 \mu\text{g/g}$ , 丙二醛含量变化范围在  $15.27 \sim 26.38 \mu\text{mol/g}$ ; 其中可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量均以皂荚最高, 并且均显著高于其他园林植物 ( $P < 0.05$ ); 其中可溶性蛋白含量大小依次为皂荚 > 山楂 > 丁香 > 石竹 > 榆叶梅, 可溶性糖含量大小依次为皂荚 > 丁香 > 山楂 > 榆叶梅 > 石竹, 叶绿素 a 和叶绿素 b 呈现一致的变化规律, 大小依次为皂荚 > 丁香 > 山楂 > 榆叶梅 > 石竹, 丙二醛含量大小依次为石竹 > 榆叶梅 > 丁香 > 山楂 > 皂荚, 脯氨酸含量大小依次为石竹 > 榆叶梅 > 山楂 > 丁香 > 皂荚。

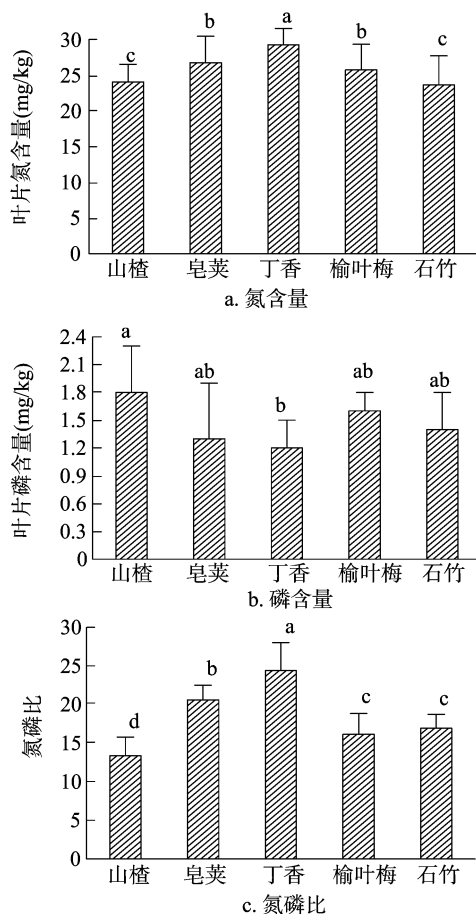


图2 不同园林植物叶片氮、磷含量

表 2 不同园林植物叶片生理指标

植物	可溶性蛋白含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	可溶性糖含量 (%)	叶绿素 a 含量 ( $\text{mg/g}$ )	叶绿素 b 含量 ( $\text{mg/g}$ )	脯氨酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	丙二醛含量 ( $\mu\text{mol/g}$ )
山楂	$127.56 \pm 34.24\text{b}$	$0.25 \pm 0.08\text{b}$	$3.54 \pm 0.85\text{b}$	$1.23 \pm 0.55\text{b}$	$6.98 \pm 0.88\text{c}$	$19.38 \pm 3.56\text{c}$
皂荚	$135.98 \pm 23.78\text{a}$	$0.32 \pm 0.09\text{a}$	$3.97 \pm 0.45\text{a}$	$1.95 \pm 0.27\text{a}$	$5.23 \pm 1.22\text{d}$	$15.27 \pm 4.01\text{a}$
丁香	$125.37 \pm 25.03\text{b}$	$0.31 \pm 0.13\text{a}$	$3.77 \pm 0.36\text{a}$	$1.83 \pm 0.84\text{a}$	$5.87 \pm 1.54\text{d}$	$20.45 \pm 3.33\text{b}$
榆叶梅	$105.38 \pm 30.02\text{c}$	$0.14 \pm 0.05\text{bc}$	$2.15 \pm 0.97\text{c}$	$0.94 \pm 0.23\text{c}$	$8.36 \pm 1.87\text{b}$	$23.54 \pm 2.89\text{bc}$
石竹	$107.25 \pm 18.55\text{c}$	$0.09 \pm 0.02\text{c}$	$1.27 \pm 0.71\text{d}$	$0.78 \pm 0.18\text{c}$	$9.26 \pm 2.01\text{a}$	$26.38 \pm 1.97\text{d}$

2.5 不同园林植物叶绿素荧光参数

以不同园林植物为研究对象,用调制荧光仪分别于 2014 年 7 月测定叶绿素荧光参数指标,测定不同园林植物叶片受粉尘污染 5 d 连续值( $F_v/F_m$  和 yield 参数),分析叶片在粉尘污染下的连续响应,为进一步研究植物叶绿素荧光参数变化指示粉尘污染提供依据。由图 3 可知,粉尘对不同园林植物具有不同程度的激发作用。粉尘覆盖对不同园林植物的激发作用基本表现为前 3 d 光量子产率( $F_v/F_m$ ,即 yield)和最大光化学量子产量( $F_v/F_m$ )增加,3 d 后 yield、 $F_v/F_m$  明显下降,第 5 天趋于稳定;粉尘覆盖对丁香叶片光合生理的激发在前 2 d 表现明显,2 d 后光量子产率则开始缓慢下降并最终保持稳定。

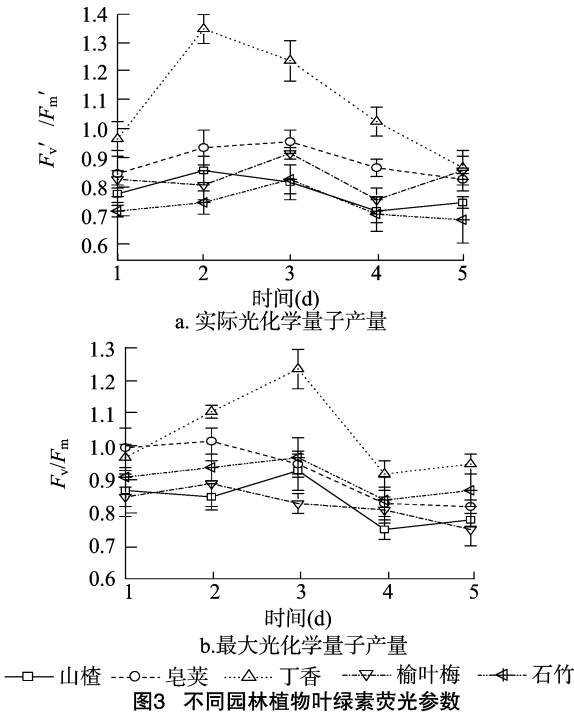


图3 不同园林植物叶绿素荧光参数

3 讨论与结论

作为空气质量监测的重要方法,园林植物叶片滞尘量在一定程度上反映了空气中颗粒物含量<sup>[18]</sup>。本研究分别对内蒙古包头市不同园林植物 2013—2014 年(分春、夏、秋、冬 4 季)滞尘量进行测定,不同植物滞尘能力存在显著差别,大小依次为皂荚>丁香>山楂>榆叶梅>石竹。不同植物植株滞尘量的差异较大,皂荚平均滞尘量最高导致其植株滞尘量最大;山楂叶片小(单株叶面积仅 415.78  $\text{m}^2$ ),而其冠层大、枝

叶茂密,虽然单位叶面积滞尘量不及榆叶梅,但是由于平均滞尘量较大,因此其植株滞尘量较高;丁香单株总叶面积最高,达到 597.39  $\text{m}^2$ ,但由于其平均滞尘量并非最大,其植株滞尘量仅次于皂荚。由此可知,皂荚、丁香可以作为滞尘能力优良的城市园林植物,主要受单叶面积大小、叶片组织结构、树冠密集度、整株叶量等因子制约,导致各滞尘量和滞尘效应不尽一致<sup>[10,12]</sup>。同时,植物叶片滞尘作用与所在街道、人为干扰情况、植物本身属性、自然环境的因子有关。此外,皂荚、丁香生长速度快、叶片繁密,这种特性有利于阻挡风力等恶劣环境;石竹生长较为缓慢,叶片易受风力、沉降等外界环境的干扰,从而不利于接受地面的扬尘。

大气颗粒物通过干、湿沉降到植物的叶表面,本研究中不同园林植物叶片之间细微结构的差异导致叶片的支持和固定作用效果也不尽一致。本研究中乔木(皂荚和山楂)滞尘量最大,粒径偏小,一定程度上反映了该乔木所处街道的粉尘污染状况较为严重,并且乔木  $\text{MP}_{2.5}$ 、 $\text{MP}_{10}$  的比例均高于灌木(丁香和榆叶梅)和草本(石竹),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。污染物为可吸入颗粒物,不同植物叶片所吸收的灰尘中,  $\text{PM}_{10}$  在不同地区均占了一定比例,说明内蒙古包头市不同园林植物均能够滞留可吸入颗粒物,起到改善环境质量的作用。

叶绿素作为植物光合作用的物质基础和光敏化剂,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、可溶性糖包含一些代谢的酶,其含量的多少与植株体内的代谢强度有关<sup>[19]</sup>。本研究中不同园林植物可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量均以乔木(皂荚、山楂)最高,并且叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量呈现出一致的变化规律,大小均表现为皂荚>丁香>山楂>榆叶梅>石竹。相比较可知,乔木更能够利用光能和转化光能,从而为光合补偿生长提供物质和能量基础。通过不同园林植物的滞尘效应可知,乔木所在街道环境中粉尘含量较少,空气相对清洁,植物生长状况好,而草本植物所在街道汽车尾气与扬起的粉尘使植物长期处于污染环境下,不利的生境条件引起生长状况出现差异,使得不同植物生理性质变化差异较大。除此之外,粉尘污染使树木叶片中可溶性糖含量上升是由于粉尘污染较轻时,植物积累大量的可溶性糖转化成其他的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所致,这些影响机理还缺乏生物学及生理学上的解释<sup>[20-21]</sup>。不同园林植物叶片脯氨酸含量则与可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量呈相反的变化趋势,说

明污染胁迫下植物体内脯氨酸含量会不断累积,支持了前人的研究结果<sup>[10,12]</sup>。在逆境条件下,植物体内会产生大量的自由基,脯氨酸含量的增加是植物对逆境胁迫的一种生理生化反应,具有多种生理功能<sup>[19]</sup>。由于草本植株较低的光合利用效率导致体内脯氨酸大量积累,其含量低于乔木,最终使得草本植物体内各项生理指标均低于乔木和灌木;另一方面,园林植物在高浓度粉尘污染下,能够产生大量自由基,与可溶性糖含量一同积累,以阻止和减轻植物细胞膜脂过氧化程度,缓和细胞膜透性的变化,这是植物抵御大气污染胁迫的适应和表现之一<sup>[19]</sup>。丙二醛含量作为膜脂氧化的最终产物能够衡量植物细胞膜伤害的程度。粉尘污染会影响叶片活性氧清除系统,致使抗氧化酶系统活性上升,并使植物体内丙二醛含量积累增加,丙二醛含量积累越多说明植物受伤害越严重,植物所处环境越恶劣,这与前人的研究结果相一致<sup>[10,12]</sup>。本研究中植物丙二醛含量与脯氨酸含量表现一致的变化趋势,这与细胞膜系统受损伤和酶活性的改变有关,在粉尘污染条件下,草本植株体内细胞膜透性增加,细胞内溶物渗出导致活性氧积累,从而降低了各项生理功能,产生代谢失调,而乔木植物较高的光合利用率对膜具有一定的保护和修复作用,这也是园林植物对于环境的胁迫所表现出来的细胞过氧化产物增多而启动的一种应激机制<sup>[22]</sup>。通过测定不同植株体内氮、磷含量可知,不同园林植株体内氮、磷含量变化不相一致,这与粉尘污染下植物自身的生理特性有关<sup>[10,12,23]</sup>。

粉尘污染对植物叶绿素荧光参数的影响可能是多方面的,可以直接引发光合机构的损伤,同时影响光合电子传递和光合磷酸化以及暗反应的有关酶系;同时,在粉尘胁迫下,叶绿素的光还原活性降低,固定荧光 $F_0$ 上升, $F_v/F_m$ 明显降低,反映PS II的潜在活性和原初光能转换效率的减弱,它们的变化程度可以用来鉴别植物的不同抵抗或忍耐粉尘污染的能力,为粉尘污染区绿化树种选择提供科学依据。本研究粉尘对不同园林植物具有不同程度的激发作用,粉尘覆盖对不同园林植物的激发作用基本表现为前3d光量子产率(yield)和PS II原初光能转化效率( $F_v/F_m$ )增加,第4天后光量子产率、 $F_v/F_m$ 明显下降,第5天趋于稳定;粉尘覆盖对丁香叶片光合生理的激发在前2d表现明显,2d后光量子产率则开始缓慢下降并最终保持稳定。不同植物叶片受粉尘污染后各项指标均表现出先下降后上升的趋势,这与相关学者的结论具有一致性,而粉尘污染对植物叶片的激发响应效应有待进一步试验论证。

#### 参考文献:

- [1] Moldan B, Janoušková S, Hák T. How to understand and measure environmental sustainability: indicators and targets[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 17(3): 4–13.
- [2] Seaton A, Godden D, MacNee W, et al. Particulate air pollution and acute health effects[J]. *The Lancet*, 1995, 345(8943): 176–178.
- [3] Paoli L, Guttová A, Grassi A, et al. Ecophysiological and ultrastructural effects of dust pollution in lichens exposed around a cement plant (SW Slovakia)[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2015, 22(20): 15891–15902.
- [4] Seyyednejad S M, Niknejad M, Koochak H. A review of some different effects of air pollution on plants[J]. *Research Journal of Environmental Sciences*, 2011, 5(4): 302–309.
- [5] 陈桂月, 李海涛, 梁涛. 内蒙古经济发展与环境污染之间关系的检验[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(11): 1845–1859.
- [6] 赵仁鑫, 郭伟, 包玉英, 等. 内蒙古草原白乃庙铜矿区土壤重金属污染特征研究[J]. *土壤通报*, 2012, 43(2): 496–500.
- [7] 刘克利, 王旭东, 孙红斌. 内蒙古自治区主要城市空气质量状况分析[J]. *内蒙古气象*, 2012(6): 18–20.
- [8] 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 International*, 2013, 20(9): 6601–6610.
- [9] 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.
- [10] 吴等, 宋志文, 徐爱玲, 等. 青岛市不同功能区冬季空气微生物群落代谢与多样性特征[J]. *生态学报*, 2015, 35(7): 2277–2284.
- [11] Steltzer H, Landry C, Painter T H, et al. Biological consequences of earlier snowmelt from desert dust deposition in alpine landscapes[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(28): 11629–11634.
- [12] Qiu Y, Guan D, Song W, et al. Capture of heavy metals and sulfur by foliar dust in urban Huizhou, Guangdong Province, China[J]. *Chemosphere*, 2009, 75(4): 447–452.
- [13] 孔国辉, 陈宏通, 刘世忠, 等. 广东园林绿化植物对大气污染的反应及污染物在叶片的积累[J]. *热带亚热带植物学报*, 2003, 11(4): 297–315.
- [14] 刘世忠, 薛克娜, 孔国辉, 等. 大气污染对35种园林植物生长的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2003, 11(4): 329–335.
- [15] 陈芳, 周志翔, 郭尔祥, 等. 城市工业区园林绿地滞尘效应的研究[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(1): 34–38.
- [16] 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.
- [17] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [18] 周志翔, 邵天一, 王鹏程, 等. 武钢厂区绿地景观类型空间结构及滞尘效应[J]. *生态学报*, 2002, 22(12): 2036–2040.
- [19] Yentsch C S, Menzel D W, Yentsch C S, et al. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence[J]. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 1963, 10(63): 221–231.
- [20] Hirano T, Kiyota M, Aiga I. Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants[J]. *Environmental Pollution*, 1995, 89(3): 255–261.
- [21] Singh S N, Rao D N. Certain responses of wheat plants to cement dust pollution[J]. *Environmental Pollution Series A: Ecological and Biological*, 1981, 24(1): 75–81.
- [22] Joshi P C, Swami A. Physiological responses of some tree species under roadside automobile pollution stress around city of Haridwar, India[J]. *The Environmentalist*, 2007, 27(3): 365–374.
- [23] Nanos G D, Ilias I F. Effects of inert dust on olive (*Olea europaea* L.) leaf physiological para[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2007, 14(3): 212–214.