

# 青岛市黄岛区街道绿化植物滞尘效应分析

吴彤彤, 许 昌, 赵艳云, 唐小玲\*

山东科技大学安全与环境工程学院, 山东 青岛  
Email: 3055785826@qq.com, \*tangxl318@sina.com

收稿日期: 2020年9月18日; 录用日期: 2020年10月8日; 发布日期: 2020年10月15日

## 摘 要

本文选取青岛市黄岛区具有代表性的绿化植物及绿地进行采样研究, 采用重量差值法和不同类型植物搭配的样方分析法, 定量测量了三功能区14个常见植物的单位表面滞尘能力和7个典型搭配样方的总滞尘能力。研究表明: 供试植物的变异系数在0.05~0.39之间, 最大的是草本类的沿阶草, 最小的是乔木类的黄栌。PM<sub>10</sub> (可吸入颗粒物)占TSP (总悬浮颗粒物)滞尘比例大于80%的有中山杉、金边黄杨、小叶黄杨、红叶石楠、连翘、剑叶金鸡菊、石榴, 其中中山杉比例最大, 达到94.89%。金边黄杨和石榴变异系数小且PM<sub>10</sub>占TSP滞尘比例较大, 可作为优选绿化植物。公园的单位叶面积滞尘量和单株植物滞尘量都要明显小于车流量较大的科大北门和交通局。滞尘量最多的样方搭配是最少的19倍, 此种搭配(梧桐-小叶黄杨-冬青)每样方(5 m × 3 m)的滞尘量达到2486 g。依据不同绿化植物和立体感进行搭配, 为绿化植物选择及降低大气颗粒物污染提供依据。

## 关键词

植物叶片, 滞尘效益, 绿化搭配, 滞尘能力

# Analysis of Dust Retention Effect of Greening Plants in Huangdao District of Qingdao

Tongtong Wu, Chang Xu, Yanyun Zhao, Xiaoling Tang\*

College of Safety and Environmental Engineering, SUST, Qingdao Shandong  
Email: 3055785826@qq.com, \*tangxl318@sina.com

Received: Sep. 18<sup>th</sup>, 2020; accepted: Oct. 8<sup>th</sup>, 2020; published: Oct. 15<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

In this paper, the representative green plants and green spaces in Huangdao District of Qingdao were selected for sampling, using the method of weight difference and quadrat analysis of different types of plants, the dust retention capacity per unit surface of 14 common plants in three functional

\*通讯作者。

areas and the total dust retention capacity of 7 typical samples were measured. The results show that the coefficient of variation of the tested plants is between 0.05 - 0.39, the largest is the herb *Ophiopogon bodinieri* level; the smallest is the tall tree *Cotinus coggygia*. PM10 (inhalable particulates) accounted for more than 80% of TSP (total suspended particulates) dust retention ratio. There were Zhongshan fir, Phnom Penh boxwood, *Euonymus japonicus*, red leaf Shi Nan, forsythia suspending, sword leaf chrysanthemum, pomegranate, and the highest proportion of Zhongshan fir reached 94.89%. The coefficient of variation of Phnom Penh boxwood and pomegranate are small, and PM10 accounts for a large proportion of TSP dust retention, so they can be used as optimal greening plants. The amount of dust retention per unit leaf area and per plant in the park is significantly smaller than that in the north gate of Keda and the Transportation Bureau with large traffic volume. The collocation Wutong is the most common sample collocation at least 19 times. The dust holding capacity of each sample (5 m × 3 m) of this combination (Chinese parasol-*Euonymus japonicus*-holly) is 2486 g. According to different greening plants and three-dimensional sense, it can provide basis for greening plant selection and reducing air particle pollution.

## Keywords

Plant Leaves, Dust Retention Benefit, Green Matching, Dust Retention Capacity

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

随着社会的快速发展,环境污染日趋严重,大气颗粒物污染也日益严峻。与大气颗粒物有紧密联系的城市雾霾成为近年来环境关注的焦点,以京津冀地区为代表的全国众多城市近些年来发生多起雾霾事件,不仅影响着人体健康,导致呼吸系统疾病,更是影响日照时间和地面能见度[1][2]。植物因其茸毛和表面蜡层被称为“天然的空气过滤器”,除了可以美化环境之外,其滞尘效应在改善环境空气质量起到了不可或缺的作用。

目前,国内外关于不同植物的滞尘能力与叶表结构、不同气象条件下、不同城市 and 不同功能区的研究较多。Souch [3]等研究表明,植物的树冠能够阻挡气流,从而有部分颗粒物被吸附,起到一定的滞尘作用。Dzierzanowski 等[4]的研究表明,叶片表面滞留的颗粒物总悬浮颗粒物最多,细颗粒物最少。另外,国外已有学者尝试利用微区分析等高端分析技术来测定被叶片吸附的尘土的成分,并且对这些细尘粒进行毒理研究[5]。国内有学者研究表明,对于叶表相对光滑,其滞尘能力较弱,而对于叶表结构较密集,起伏比较大的树种,如叶表具有明显的丰富的纤毛或脊状褶皱的树种,滞尘能力则较强[6][7]。黄承石等[8]通过研究5种润楠属植物,研究结果表明:表面附着物、叶片形态、叶脉复杂程度等都会影响叶片的滞尘能力,表皮细胞大小和叶片面积对滞尘能力的影响不大,而气叶片的滞尘能力与孔器的大小呈正相关。相对而言,国内外对于不同植物搭配样方的滞尘效应的评价研究较少。本文对青岛市黄岛区有代表性的不同绿地中的园林植物进行深入研究和实地调研,并对不同植物的滞尘能力和不同搭配产生的效果进行统计分析,旨在为城市园林绿化植物的选择提供科学理论依据。

## 2. 研究方法

### 2.1. 研究领域

黄岛区位于青岛市胶州湾西海岸(120.18°E, 35.97°N),它南面黄海,东临胶州湾,西依小珠山,夏无

酷暑，冬无严寒，属于温带海洋性气候。据报道，仅 2018 年冬季，黄岛区雾霾天气超过了 60 天，因此对于空气颗粒物的治理工作迫在眉睫。

## 2.2. 样品的采集

### 2.2.1. 采样地点

在进行正式场地采集前先通过查阅各种资料文献等确定主要研究区域，并进行实地考察黄岛绿地分布状况。根据黄岛区车流量和实地调研，选择了两条主干道和一个公园为三个功能层次，分别为：科大北门(渭河路科大北门 120.118°E, 36.008°N)、交通局(香江路交通局 120.172°E, 35.97°N)和公园(南辛安河公园 120.132°E, 36.004°N)，如图 1 所示。

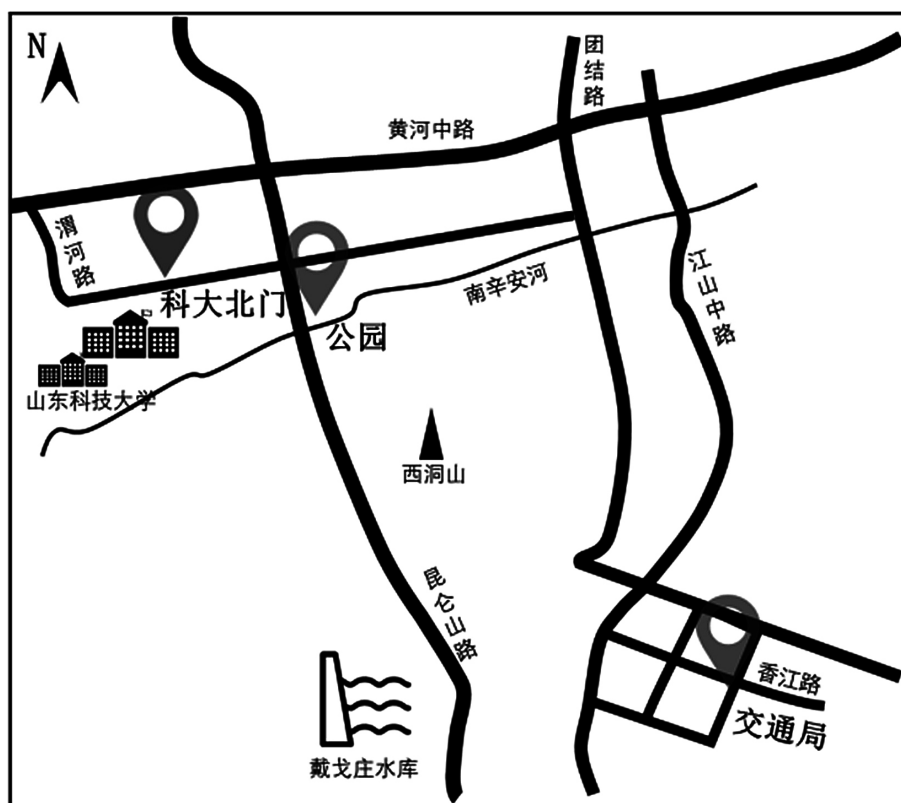


Figure 1. Distribution of sampling points in Huangdao District

图 1. 黄岛区采样点分布图

### 2.2.2. 植株选择与样地设置

通过对黄岛区三个功能区的系统调查，选取生长状况良好、植物分布均匀的样地，样地面积设置为  $5\text{ m} \times 3\text{ m}$ ，确定了黄杨、冬青、沿阶草、樱花、石楠等黄岛区常见绿化植株作为研究对象，各功能区供试植物见表 1。

### 2.2.3. 植株基础数据的测量和估算

根据不同绿地结构的占地面积，在  $5\text{ m} \times 3\text{ m}$  的样方内确定不同植物的株数、株高(高乔木目测估算)、叶片数(乔木灌木，用标准枝法估算整株；草本，取一个小的单位面积，估算叶片数，再扩大到整个样方)、盖度(估算正投影时投影占总单位面积的百分比)、冠幅(三次测量单株植株的垂直方向宽度的平均值，如果太高不便测量，可以量投影)，以及乔木胸径(离地 1.3 米处的直径)，数据见表 1。

**Table 1.** Greening plant data information**表 1.** 绿化植物数据信息

| 地点   | 名称(类型)  | 株数(棵) | 株高(cm)    | 冠幅(cm)    | 胸径(cm) | 盖度(%) | 叶片数/株          |
|------|---------|-------|-----------|-----------|--------|-------|----------------|
| 科大北门 | 玉兰(乔)   | 3     | 500 ± 10  | 227 × 227 | 6.7    | 80    | 2167 ± 100     |
|      | 红叶石楠(灌) | 44    | 120 ± 10  | 69 × 63   |        | 95    | 364 ± 10       |
|      | 冬青(灌)   | 1     | 140 ± 10  | 153 × 164 |        | 95    | 5161 ± 100     |
|      | 沿阶草(草)  | 2500  | 27 ± 10   |           |        | 90    | 10 ± 1         |
| 交通局  | 梧桐(乔)   | 1     | 1360 ± 10 | 550 × 500 | 39.4   | 80    | 179,472 ± 1000 |
|      | 小叶黄杨(灌) | 170   | 80 ± 10   | 29 × 27   |        | 70    | 2011 ± 100     |
|      | 冬青(灌)   | 7     | 80 ± 10   | 72 × 61   |        | 85    | 905 ± 10       |
|      | 石榴(灌)   | 1     | 146 ± 10  | 122 × 103 |        | 95    | 2700 ± 100     |
|      | 石楠(灌)   | 115   | 70 ± 10   | 57 × 42   |        | 40    | 139 ± 10       |
|      | 金边黄杨(灌) | 500   | 47 ± 10   | 24 × 14   |        | 75    | 338 ± 10       |
|      | 中山杉(乔)  | 11    | 467 ± 10  | 191 × 176 | 12     | 70    | 40704 ± 100    |
|      | 樱花(乔)   | 3     | 541 ± 10  | 357 × 202 | 20     | 75    | 6120 ± 100     |
| 公园   | 冬青(乔)   | 40    | 65 ± 10   | 26 × 22   |        | 50    | 89 ± 10        |
|      | 石楠(灌)   | 19    | 65 ± 10   | 25 × 22   |        | 80    | 75 ± 10        |
|      | 冬青(灌)   | 16    | 50 ± 10   | 25 × 21   |        | 50    | 31 ± 1         |
|      | 沿阶草(草)  | 39    | 27 ± 10   |           |        | 100   | 10 ± 1         |
|      | 金鸡菊(草)  | 51    | 35 ± 10   |           |        | 100   | 12 ± 1         |

#### 2.2.4. 叶片采集

园林绿化植物滞尘量会受到当地天气气候的影响。因此选取晴朗无雨的一天,在距地面相同高度处,选取健康、成熟、面朝街道且大小相近的 10 个叶片为一组测试样本。一只手用圆头镊子夹住叶柄,另一只手用枝剪将叶柄剪断;然后用圆头镊子夹住被剪断的叶柄,连同叶片小心置于保留部分气体的自封袋中,尽量不要震荡或触摸叶片,防止灰尘抖落或叶表绒毛被破坏影响实验结果。每种植物采集 3 组样本,即重复采样三次。

### 2.3. 样品数据的测定

#### 2.3.1. 叶面积的测定

叶面积的测定采用基于手机和 PS 软件的测定法,先将一组叶片样本悉数摆放至 200 mm × 250 mm 的坐标纸上,在保证所有叶片均在视野范围前提下使用手机拍照功能拍取照片,将照片上传至电脑,用 PS 软件对叶片的像素面积和单位面积的像素面积进行比较进而得出实际面积。对样品中的每一个叶片都进行叶面积的测定,然后得出平均叶面积 S。

#### 2.3.2. 叶片总滞尘量和单位面积滞尘量的测定

将采集的叶片在蒸馏水浸泡 1 h 后,用刷子清洗叶片上灰尘,随后用镊子将叶片小心夹出。用布氏漏斗(内置已烘干的 10 μm 滤膜(W<sub>1</sub>))对浸洗液进行抽滤,后将滤膜置于烘箱中(100℃下烘 0.5 h),再用千分之一天平称重(W<sub>2</sub>),2 次质量之差即为大于等于 10 μm 的滞尘量,重复 3 次。取一洁净的蒸发皿置于烘箱中烘 0.5 h,取出称量其重量记为 W<sub>3</sub>。将抽滤后的溶液用恒温磁力搅拌器搅拌 6 分钟,取出 40 ml 或 50 ml (原体积的十个之一)置于质量已知为 W<sub>3</sub> 的蒸发皿中,将蒸发皿置于烘箱中(100℃下烘 4 h),再

用千分之一天平称重量为  $W_4$ ，两次质量之差的十倍即为小于  $10\ \mu\text{m}$  的滞尘量。

某种植物  $\geq 10\ \mu\text{m}$  的单位叶面滞尘量  $M_1 = (W_2 - W_1)/S$ ，其  $<10\ \mu\text{m}$  单位叶面滞尘量  $M_2 = [(W_4 - W_3) \times 10]/S$ ，单位叶面总滞尘量  $M = M_1 + M_2$ 。最终数据均取三次测量所得平均值来计算。

### 2.4. 车流量的测定

在一天中的相同时间段，即上午 10:00~10:10，记录相同单位时间内被研究道路的单向车流量。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 不同植物滞尘能力的比较

**Table 2.** Dust retention capacity of different plants

**表 2.** 不同植物的滞尘能力

| 植物类别 | 植物名称  | 单位叶面总滞尘量 $\text{mg}/\text{m}^2$ | 变异系数 | 不同粒径单位叶片面积滞尘量( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) |                        | PM10 占 TSP 滞尘比例(%) | 单株总滞尘量( $\text{mg}$ ) |
|------|-------|---------------------------------|------|---|------------------------|--------------------|-----------------------|
|      |       |                                 |      | $<10\ \mu\text{m}$                      | $\geq 10\ \mu\text{m}$ |                    |                       |
| 乔木   | 梧桐    | 1726.83 + 373.29                | 0.22 | 1144.86                                 | 581.97                 | 66.30              | 1,171,848.44          |
|      | 玉兰    | 2446.82 + 912.48                | 0.35 | 1327.09                                 | 1119.73                | 54.24              | 35,514.72             |
|      | 中山杉   | 6045.84 + 1984.22               | 0.34 | 5736.93                                 | 308.91                 | 94.89              | 206,535.11            |
|      | 黄栌    | 2499.67 + 125.87                | 0.05 | 1792.22                                 | 707.45                 | 71.70              | 85,277.00             |
|      | 樱花    | 1746.48 + 300.88                | 0.17 | 1223.65                                 | 522.83                 | 70.06              | 38,194.96             |
|      | 冬青    | 4135.34 + 655.89                | 0.19 | 2408.23                                 | 1727.11                | 58.24              | 10,758.11             |
|      | 石楠    | 2214.25 + 395.00                | 0.25 | 1678.90                                 | 535.35                 | 75.82              | 1204.01               |
| 灌木   | 红叶石楠  | 3565.62 + 1356.87               | 0.38 | 3049.54                                 | 516.08                 | 85.53              | 422.22                |
|      | 小叶黄杨  | 7020.95 + 2644.19               | 0.38 | 6052.54                                 | 968.41                 | 86.21              | 3887.93               |
|      | 金边黄杨  | 2698.1 + 324.06                 | 0.12 | 2366.75                                 | 331.35                 | 87.72              | 2892.75               |
|      | 石榴    | 2367.95 + 216.44                | 0.09 | 1933.02                                 | 434.93                 | 81.63              | 13,230.00             |
|      | 连翘    | 5134.03 + 1030.51               | 0.20 | 4254.72                                 | 879.31                 | 82.87              | 6485.83               |
| 草本   | 沿阶草   | 6073.86 + 2274.75               | 0.39 | 4066.67                                 | 2007.19                | 66.95              | 91.44                 |
|      | 剑叶金鸡菊 | 4422.33 + 1265.33               | 0.28 | 3640.33                                 | 782.00                 | 82.32              | 72.89                 |

本研究对 3 个功能层次研究区内 14 种植物的叶片单位面积滞尘量进行了测量，植物名称见表 2，其中冬青是三地(科大北门、公园、交通局)数据的平均值，沿阶草是科大北门和公园数据的平均值，石楠是交通局和公园数据的平均值。

变异系数(又称离散系数)是概率分布函数中离散程度的归一化量度。在这里，变异系数反映了调研的植物叶片颗粒物滞尘能力的稳定性，数值越小，表明该植物越稳定。由表 2 可知，调研植物叶片的总颗粒物滞尘能力较稳定，变异系数在 0.05~0.39 之间，最大的是草本类的沿阶草，最小的是乔木类的黄栌，比张桐研究[7]的北京市夏季的六种植物的变异系数(34.19%~79.53%)小，可能与植物种类及两地的气候不同有关。变异系数大于 0.3 的植物有沿阶草、小叶黄杨、红叶石楠、玉兰、中山杉，其中 PM10 占 TSP 滞尘比例较小的是玉兰。因此玉兰不适宜作为防治大气颗粒物污染的植物，但是由于其景观效果较好，可以适当作为消减颗粒物的植物。变异系数小于 0.2 的植物有黄栌、樱花、冬青、金边黄杨、石榴，其

中 PM10 占 TSP 滞尘比例较大的有金边黄杨、石榴，充分说明了这两种植物滞尘较稳定且倾向于滞留细粒径颗粒物，进一步表明了这两种植物较适宜作为消减颗粒物的植物，且这两种植物都是景观较好的灌木，对于细颗粒物较多且汽车尾气排放较多的城市市区非常适宜。

通过对植物所滞尘土颗粒物的粒径大小分析， $<10\ \mu\text{m}$  颗粒物占总滞尘量比例都大于  $\geq 10\ \mu\text{m}$  颗粒物占总滞尘量比例。其中 PM10 占 TSP 滞尘比例大于 80% 的有金边黄杨、小叶黄杨、红叶石楠、连翘、剑叶金鸡菊、石榴和中山杉，其中所占比例最大的是中山杉，达到 94.89%。

从表 2 单株总滞尘量来看我们所调查的植物，在乔木类的植物中，由高到低依次是梧桐、中山杉、黄栌、樱花、玉兰。其中，中山杉和梧桐单株滞尘量大主要是因为它的冠幅大，叶片数多，为其提供了更多接触尘土的机会。而在灌木中，由高到低依次是石榴、冬青、连翘、小叶黄杨、金边黄杨、石楠、红叶石楠。因此，绿化中提高冬青和石榴的比例是正确的选择。灌木中的黄杨类，小叶黄杨的单株滞尘量要远远大于金边黄杨。灌木中的同为蔷薇科石楠属的石楠和红叶石楠，杂交种的红叶石楠滞尘效果远不如石楠。草本中沿阶草单株滞尘量比剑叶金鸡菊要大。

### 3.2. 不同地区植物滞尘能力比较

**Table 3.** Dust retention capacity of plants in different regions  
**表 3.** 不同地区植物滞尘能力

| 植物种类    | 地点   | 植株单叶平均面积( $\text{cm}^2$ ) | 叶片数  | 单位叶面积滞尘量( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) | 单株树木滞尘量( $\text{mg}$ ) |
|---------|------|---------------------------|------|------------------------------------|------------------------|
|         | 公园   | 13.44                     | 60   | 1583.29                            | 127.67                 |
| 冬青(灌木)  | 交通局  | 15.84                     | 905  | 3130.00                            | 4486.63                |
|         | 科大北门 | 8.76                      | 5161 | 7766.84                            | 35096.16               |
| 石楠(灌木)  | 公园   | 25.53                     | 75   | 1381.25                            | 264.51                 |
|         | 交通局  | 17.64                     | 139  | 3020.00                            | 740.41                 |
| 沿阶草(草本) | 公园   | 20.46                     | 10   | 2590.82                            | 53.01                  |
|         | 科大北门 | 28.94                     | 10   | 9849.37                            | 293.63                 |

由记录得科大北门 91 辆/10 min，交通局车流量为 124 辆/10 min，公园车流量为 0 辆/10 min。由表 3 可知，对于单位叶面积滞尘量和单株树木滞尘量，公园都要明显小于车流量较大的科大北门和交通局，充分表明了车辆行驶引起的粉尘再悬浮和汽车尾气对大气颗粒物的较大贡献。此外，没有车流量的公园植物也有一定的滞尘能力，说明机动车尾气及车辆行驶引起尘土的再悬浮对植物叶片滞尘有较大贡献，但建筑施工、工业排放和气象因素等也不容忽视。

### 3.3. 不同园林配置下的植物滞尘能力

**Table 4.** The ability of plants to retain dust in different areas  
**表 4.** 不同地区不同园林配置下的植物滞尘能力

| 地点   | 搭配               | 植物种类 | 单位叶面滞尘量/ $\text{mg}/\text{m}^2$ | 株数   | 单株滞尘量/ $\text{mg}$ | 样方滞尘量/ $\text{g}$ | 总滞尘量/ $\text{g}$ |
|------|------------------|------|---------------------------------|------|--------------------|-------------------|------------------|
|      |                  | 沿阶草  | 9849.37                         | 2500 | 294.14             | 735.345           |                  |
| 科大北门 | 搭配一<br>(乔-灌-灌-草) | 红叶石楠 | 3568.34                         | 44   | 2050.79            | 90.23             | 972.71           |
|      |                  | 冬青   | 7766.84                         | 1    | 35,096.16          | 35.10             |                  |
|      |                  | 玉兰   | 2606.56                         | 3    | 37,343.37          | 112.03            |                  |

Continued

|     |                  |       |         |      |              |         |         |
|-----|------------------|-------|---------|------|--------------|---------|---------|
|     |                  | 沿阶草   | 9849.37 | 2435 | 294.14       | 716.23  |         |
|     | 搭配二<br>(乔-灌-灌-草) | 红叶石楠  | 3568.34 | 42   | 2050.79      | 86.13   | 951.76  |
|     |                  | 连翘    | 5075.38 | 10   | 6411.93      | 64.12   |         |
|     |                  | 黄栌    | 2499.60 | 1    | 85,274.62    | 85.27   |         |
|     |                  | 梧桐    | 1727.03 | 1    | 2,165,893.26 | 2165.89 |         |
|     | 搭配三<br>(乔-灌-灌)   | 小叶黄杨  | 6899.51 | 170  | 3821.15      | 649.60  | 2846.85 |
|     |                  | 冬青    | 3125.91 | 7    | 4480.77      | 31.37   |         |
| 交通局 | 搭配四<br>(灌-灌)     | 石榴    | 2353.53 | 1    | 13,149.43    | 13.15   | 98.18   |
|     |                  | 石楠    | 3015.71 | 115  | 739.36       | 85.03   |         |
|     | 搭配五<br>(灌-灌)     | 石榴    | 2353.53 | 1    | 13,149.43    | 13.15   | 1471.88 |
|     |                  | 金边黄杨  | 2685.80 | 500  | 2917.46      | 1458.73 |         |
|     |                  | 冬青    | 1583.29 | 40   | 189.37       | 7.57    |         |
|     | 搭配六<br>(乔-灌-灌-草) | 沿阶草   | 2590.82 | 39   | 53.01        | 2.07    | 121.81  |
|     |                  | 石楠    | 1381.25 | 23   | 264.51       | 6.08    |         |
| 公园  |                  | 樱花    | 1735.52 | 3    | 35,362.83    | 106.09  |         |
|     |                  | 中山杉   | 5897.91 | 3    | 201,489.52   | 604.47  |         |
|     | 搭配七<br>(乔-灌-草)   | 冬青    | 1583.29 | 16   | 65.96        | 1.06    | 607.97  |
|     |                  | 剑叶金鸡菊 | 4489.42 | 33   | 73.99        | 2.44    |         |

由表 4 可知，科大北门所调研的植物的单位叶面滞尘量由大到小依次是沿阶草、冬青、连翘、红叶石楠、玉兰、黄栌，科大北门调查的植物中单株总滞尘量由大到小依次是黄栌、玉兰、冬青、连翘、红叶石楠、沿阶草。其中黄栌的单位叶面滞尘量最少但单株滞尘量最多，沿阶草的单位叶面滞尘量最多但单株滞尘量最少，这说明单株滞尘量与单株植物的叶子数目有很大的关系。

由表 4 可知，交通局所调研的植物的单位叶面滞尘量由大到小依次是小叶黄杨、冬青、石楠、金边黄杨、石榴、梧桐，单株总滞尘量由大到小依次是梧桐、小叶黄杨、石榴、冬青、金边黄杨、石楠。其中小叶黄杨的单位叶面滞尘量最多且单株滞尘量也较多，梧桐的单位叶面滞尘量最少但单株滞尘量最多，这是因为梧桐的叶片较大且叶子数量较多。

由表 4 可知，公园所调研的植物的单位叶面滞尘量由大到小依次是中山杉、剑叶金鸡菊、沿阶草、樱花、冬青、石楠，单株总滞尘量由大到小依次是中山杉、樱花、石楠、冬青、剑叶金鸡菊、沿阶草。其中中山杉的单位叶面滞尘量最多且单株滞尘量也最多，石楠的单位叶面滞尘量最少但单株滞尘量较多。

由表 4 可知，科大北门所调研的植物类型单位叶面积平均滞尘量为草本(9849.37 mg/m<sup>2</sup>) > 灌木(5470.19 mg/m<sup>2</sup>) > 乔木(2553.08 mg/m<sup>2</sup>)，交通局调研的植物类型则为灌木(3616.09 mg/m<sup>2</sup>) > 乔木(1727.03 mg/m<sup>2</sup>)，而公园调研的植物类型中单位叶面积平均滞尘量为乔木(3816.71 mg/m<sup>2</sup>) > 草本(3540.12 mg/m<sup>2</sup>) > 灌木(1515.94 mg/m<sup>2</sup>)。根据我们的调研可知，不同区域的不同植物类型的滞尘能力是有差异的。

同样的，徐晶等[9]的研究表明，河北省道路绿化和部分城市防护林带等几种典型的植物的滞尘能力为灌木 > 乔木，与我们所调研的交通局处结论相同。江胜利等[10]对杭州市道路绿化植物进行滞尘能力研究，滞尘能力从大到小依次为灌木(1.7451 g/m<sup>2</sup>)、草本(0.8195 g/m<sup>2</sup>)、乔木(0.5534 g/m<sup>2</sup>)。韩敬等[11]对临沂市滨河大道处的植物的滞尘能力进行了研究，滞尘能力从大到小依次为乔木(0.2510 mg/cm<sup>2</sup>)、灌木

(0.1292 mg/cm<sup>2</sup>)、草本(0.0667 mg/cm<sup>2</sup>)。由数据可知,青岛市和杭州市、临沂市的不同类型植物滞尘量和滞尘能力大小排序均有一定的差异,相比而言我们所调研的青岛市各个树种的滞尘量都相对较高,可能与本研究采集的样品面朝街道且车流量较大有关。EL-Khatib 等[12]通过对 3 种不同叶片形态的树种(无花果、黑桑和圆柏)进行研究得出:无花果吸附能力介于黑桑和圆柏之间。莫若果等[13]的研究指出,植物的滞尘能力大小为灌木 > 乔木,且灌木的滞尘量较稳定,而乔木的滞尘量变化较大。因此,不同植物类型滞尘量差异显著,不同城市不同街道的尘源不同,也会导致植物的滞尘量存在较大差异。

三个功能区域距离在 20 公里以内,可从整体上比较一下同面积样方的不同搭配的滞尘能力。从表 4 计算可得,总滞尘量最多的样方是最少的 19 倍。不同搭配的样方总滞尘量由大到小依次为:搭配三(乔-灌-灌) > 搭配五(灌-灌) > 搭配一(乔-灌-灌-草) > 搭配二(乔-灌-灌-草) > 搭配七(乔-灌-草) > 搭配六(乔-灌-灌-草) > 搭配四(灌-灌)。排在前四位的是有明显车流量的交通局和科大北门,这些样方的滞尘量且都大于 900 克。值得一提的是,同一尘源的搭配四和搭配五,且同为灌木和灌木搭配,滞尘量却差别很大,主要是由于金边黄杨和石楠的样方滞尘量差别很大。因此,除了公园等景点外,道路两侧应优选金边黄杨作为绿化植物。

前人在这方面也做了大量的研究,罗曼等[14]的不同植物搭配研究表明:乔-灌-草结构 > 乔-草结构或灌-草结构 > 单一结构的绿地。冯建军等[15]的指出,乔-灌-草结构对 TSP 的净化效果最佳,乔-灌、乔-草等的滞尘效果较差。郑少文等[16]对山西农大校园内的 3 种类型绿地滞尘效果研究表明,乔灌草型滞尘率最高,灌草次之,单一草坪最差。刘学全等[17]的不同植物搭配研究表明,乔-灌-草 > 单一草坪。张新献等[18]对北京方庄小区不同植物搭配研究表明,乔灌草型 > 灌草型 > 单一草坪。李上志等[19]的研究中表明道路绿化不同植物搭配滞尘能力大小为,乔-灌-草类型最佳,乔-灌或灌-草或乔-草类型次之,单一类型的绿化最差。众多研究表明,立体层次越强的植物搭配滞尘能力越强,是提高城市道路绿地滞尘效益的有效途径。本研究这七种样方都是不同的植物搭配在一起的,总滞尘量都是较高的。其中搭配三(梧桐-小叶黄杨-冬青)达到 2486g 的滞尘量,其中梧桐的枝叶繁茂且单片树叶面积较大其单株滞尘效果较好,金边黄杨不仅枝繁叶茂且单位面积内的株数较多,故样方内总滞尘量最大,是较理想的道路绿化搭配,从而可以消减大气中颗粒物的浓度。

#### 4. 结论

通过对青岛市黄岛区三功能区 14 个常见植物的单位表面滞尘能力和 7 个典型搭配样方的总滞尘能力的分析,得到如下结论:

1) 变异系数反映了调研的植物叶片颗粒物滞尘能力的稳定性,本研究供试植物变异系数在 0.05~0.39 之间,最大的是草本类的沿阶草,最小的是乔木类的黄栌,表明黄栌是滞尘最稳定的植物,沿阶草是最不稳定的。

2) PM10 占 TSP 滞尘比例大于 80%的有中山杉、金边黄杨、小叶黄杨、红叶石楠、连翘、剑叶金鸡菊、石榴,其中中山杉比例最大,达到 94.89%。

3) 金边黄杨和石榴变异系数小且 PM10 占 TSP 滞尘比例较大,可作为优选绿化植物。

4) 公园的单位叶面积滞尘量和单株树木滞尘量都要明显小于车流量较大的科大北门和交通局,充分表明了车辆行驶引起的粉尘再悬浮和汽车尾气对大气颗粒物有较大贡献率。

5) 滞尘量最多的样方搭配是最少的 19 倍,此种搭配(梧桐-小叶黄杨-冬青)每样方(5 m × 3 m)的滞尘量达到 2486 克,是非常理想的搭配样方。

因此,在进行道路绿化时,除了有不同类型的植物形成较强的立体结构,应根据不同植物的滞尘能力和特性的差异,进行合理配置。



## 基金项目

山东省自然科学基金(ZR2018MD010)。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国生态环境部[EB/OL]. [http://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk15/201912/t20191231\\_754087.html](http://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk15/201912/t20191231_754087.html), 2016-06-02.
- [2] 郝吉明, 马广大, 王书肖. 大气污染控制工程(第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [3] Souch, C.A. and Souch, C. (1993) The Effect of Trees on Summertime Below Canopy Urban Climates: A Case Study Bloomington, Indiana. *Arbor*, **19**, 303-312.
- [4] Dzierzanowski, K., Popek, R., *et al.* (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>
- [5] Abd El-Monem, A.A., Azmy, A.M. and Mahmoud, S.A. (2013) Performance Analysis of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells for Electric Vehicle Applications. 2013 *IEEE Grenoble Conference*, Grenoble, 16-20 June 2013, 1-6. <https://doi.org/10.1109/PTC.2013.6652337>
- [6] 李海梅, 王珂. 青岛市城阳区 5 种绿化植物滞尘能力研究[J]. 山东林业科技, 2009, 39(3): 34-36.
- [7] 张桐, 洪秀玲, 孙立炜, 刘玉军. 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, 39(6): 70-77.
- [8] 黄承石, 潘珈瑶, 王东, 谢芹, 胡蝶. 5 种润楠属植物叶表皮结构和滞尘能力研究[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2019, 40(2): 76-79.
- [9] 徐晶, 徐振华. 浅谈园林树木的滞尘功能与应用[J]. 河北林业科技, 2017(2): 64-68.
- [10] 江胜利, 金荷仙, 许小连. 杭州市常见道路绿化植物滞尘能力研究[J]. 浙江林业科技, 2011, 31(6): 45-49.
- [11] 韩敬, 陈广艳, 杨银萍. 临沂市滨河大道主要绿化植物滞尘能力的研究[J]. 湖南农业科学, 2009(6): 141-142.
- [12] EL-Khatib, A.A., El-Rahman, A.M. and Elsheikh, O.M. (2011) Leaf Geometric Design of Urban Trees: Potentiality to Capture Airborne Particle Pollutants. *Journal of Environmental Studies*, **7**, 49-59.
- [13] 莫若果, 招礼军, 朱栗琼, 化彬. 南宁市 4 种绿化树种的滞尘效益评估[J]. 广西科学, 2019, 25(2): 217-222.
- [14] 罗曼. 不同群落结构绿地对大气污染物的消减作用研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [15] 冯建军, 沈家芬, 苏开君. 广州市道路绿化模式环境效益分析[J]. 城市道路与城市生态, 2001, 14(2): 4-6.
- [16] 郑少文, 邢国明, 李军, 等. 不同绿地类型的滞尘效应比较[J]. 山西农业科学, 2008, 36(5): 70-72.
- [17] 刘学全, 唐万鹏, 周志翔, 等. 宜昌市城区不同绿地类型环境效应[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(5): 53-54+83.
- [18] 张新献, 古润泽, 陈自新, 李延明, 韩丽莉, 李辉. 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.
- [19] 李上志, 姚必华, 吴安定, 等. 温州城市道路交通体系中绿化的滞尘特征研究[J]. 安徽建筑, 2017, 24(4): 259-262.