

太原地区常用地被植物及植被结构吸附 $PM_{2.5}$ 等细颗粒物能力研究

付宝春¹, 秦国杰¹, 畅平², 王松¹, 武敏¹, 左力翔¹, 薄伟^{1*}

(1. 山西省农业科学院园艺研究所, 山西太原 030031; 2. 西北农林科技大学风景园林学院, 陕西杨凌 712100)

摘要 [目的]研究太原地区常用地被植物及植被结构吸附 $PM_{2.5}$ 等细颗粒物的能力。[方法]以太原市常用园林地被植物为试验材料, 研究鸢尾、景天、玉簪、萱草 4 种地被植物 $PM_{2.5}$ 等细颗粒物的吸附能力。记录 2017 年 4—8 月太原市 $PM_{2.5}$ 浓度值, 研究太原市夏秋季 $PM_{2.5}$ 污染特征。[结果]4 种地被植物吸附 $PM_{2.5}$ 等细颗粒物的能力从大到小依次为玉簪、鸢尾、萱草、景天, 其中白花玉簪吸附细颗粒物的效果最好, 1 g 鲜重、干重附尘量分别比入宝景天高 4.4 倍和 2.0 倍, 吸附尘埃质量达到 2.8 倍, 排序结果与其单位叶面积吸附 $PM_{2.5}$ 等细颗粒物的能力相差不大; 净化系数结果表明, 3 种植被结构净化系数均为正值, 以大学校园中的乔灌木相结合的植被结构吸附 $PM_{2.5}$ 能力较强; 通过比较太原市 $PM_{2.5}$ 浓度的季节性变化, 发现太原市春末夏初 $PM_{2.5}$ 浓度值偏高。[结论]地被植物对太原城市景观建设、调节生态环境起到重要作用。

关键词 太原地区; 地被植物; $PM_{2.5}$; 吸附能力

中图分类号 X513 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)09-0066-04

Study on Ability of Ground Cover Plant of Taiyuan to Adsorb $PM_{2.5}$

FU Bao-chun¹, QIN Guo-jie¹, CHANG Ping² et al (1. Institute of Horticulture, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan, Shanxi 030031; 2. College of Landscape Architecture and Arts, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract [Objective] To study the ability of plants and vegetation structures to adsorb $PM_{2.5}$ and other fine particles in Taiyuan area. [Method] Four ground cover plants of Taiyuan (*Iris germanica* L., *Hemerocallis fulva*, *Sedum spectabile*, *Hosta plantaginea*) were selected to study their capacities in adsorbing $PM_{2.5}$. Meanwhile, the $PM_{2.5}$ concentration in Taiyuan between April 2017 and August 2017 was recorded, and the characteristics of $PM_{2.5}$ pollution in summer and autumn in Taiyuan were studied. [Result] The results showed that the ability to adsorb $PM_{2.5}$ was in the order of *Hosta plantaginea*, *Iris germanica* L., *Hemerocallis fulva*, *Sedum spectabile*. Among them, the effect to adsorb $PM_{2.5}$ of *Hosta plantaginea* was the best. Fresh weight and dry weight per gram were 4.4 times and 2.0 times higher than that of *Sedum*, and the quality of dust adsorption was 2.8 times higher than that of *Sedum*. The sorting result was the same as the ability to adsorb $PM_{2.5}$ of unit leaf area. The result of the coefficient of purification showed that, the purification coefficient of three planting structure was positive, With trees and shrubs in combination with ground cover plants in university campus the adsorption capacity of $PM_{2.5}$ was stronger. By comparing the seasonal variation of $PM_{2.5}$ concentration in Taiyuan City, it was found that the $PM_{2.5}$ concentration was particularly high in the late spring and early summer of Taiyuan. At this time most of ground cover plants were not fully grown. [Conclusion] The ground cover plants were played an important role in the construction of Taiyuan landscape and the regulation of ecological environment.

Key words Taiyuan; Ground cover plants; $PM_{2.5}$; Adsorption capacity

$PM_{2.5}$ 等细颗粒物作为目前城市空气的重要污染源, 不仅影响城市交通、恶化城市环境, 而且其中携带的有毒物质更对人体健康造成严重危害^[1-2]。单就 $PM_{2.5}$ 污染对人体健康的长久影响来说, 国内外研究结果显示, 空气中 $PM_{2.5}$ 浓度每上升 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 人类死亡率就增加 5.37%, 因心血管、呼吸等疾病死亡的病例分别增加 5.91%、2.54%^[3]。然而, 近年来城市 $PM_{2.5}$ 浓度仍呈现相对升高的趋势。

早在 2012 年, 太原市日均 $PM_{2.5}$ 浓度高达 $334 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 随着城市工业进程的不断发展, $PM_{2.5}$ 已成为太原市主要空气污染物之一, 治理 $PM_{2.5}$ 等细颗粒物刻不容缓。绿色植物、江河海水是细颗粒物 ($PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 等) 的克星, 在相关研究过程中, 国内外学者探究了女贞、悬铃木^[4]、红豆杉、银杏等^[5] 常见园林绿化植物吸附 $PM_{2.5}$ 的能力, 发现这些绿化树种均可不同程度地改善空气质量, 阻滞吸附 $PM_{2.5}$ 等细颗粒物^[6]。

目前, 地被植物作为城市园林绿化的重要植物材料, 研究方向主要集中于引种^[7]、育种^[8] 及适应性^[9-11] 等领域, 但

关于其对改善生态环境方面的研究报道极少。为此, 笔者在了解大量试验手段的基础上, 选取了鸢尾、萱草、玉簪、景天 4 种城市常用地被植物, 测定了不同环境条件下 4 种植物吸附 $PM_{2.5}$ 的效果, 评价出这 4 种地被植物吸附 $PM_{2.5}$ 能力较强的植物种, 并通过记录太原市 2017 年 4—8 月的 $PM_{2.5}$ 浓度值, 分析太原市夏春季 $PM_{2.5}$ 污染情况, 说明地被植物在太原市园林景观设计以及净化城市空气中的重要作用。

1 材料与方法

1.1 材料 选取太原市园林绿化常用、栽植面积广泛的 4 种地被植物 (鸢尾、玉簪、萱草、景天) 进行试验。每种地被植物选取 2 个品种, 8 个地被植物品种形态特征见表 1。

1.2 方法

1.2.1 设置布点及叶片采集 4 种地被植物分别取材于人口集中的城市闹区、车流密集的机动车道和绿树成荫的校园 3 个采集点, 每个采集点设置 3 个布点, 每个布点相距 500 m, 每种地被植物叶片分别在这 9 个布点采集。

1.2.2 试验方法与步骤 用 15~20 mL 蒸馏水将待测植物叶片吸附的细颗粒物清洗干净^[12], 试验结束后, 剪下 4 种地被植物的叶片, 装入自封袋中, 从每个地被植物品种的叶片中随机选择 5 片, 带回实验室, 采用称重法测定吸附尘埃叶片重量、叶片鲜重、叶片干重, 并计算吸附尘埃质量、1 g 鲜重附尘量、1 g 干重附尘量、单位叶面积附尘量、吸附尘埃质量

基金项目 山西省省级财政支农专项资金项目 (2017ZZCX-11)。
作者简介 付宝春 (1973—), 男, 辽宁鞍山人, 副研究员, 博士, 从事花卉引种驯化研究。* 通讯作者, 助理研究员, 在读博士, 从事园林植物生理生态研究。

收稿日期 2017-12-18

累计和植物总叶面积累计。

1.2.3 PM_{2.5}浓度观测。以大学校园(植被结构:乔灌木)、城市闹区(植被结构:乔木)及机动车道(植被结构:乔草)作为样地,在其植物群落中分别布点,选取非雨雪天气,采用 Dust mate 粉尘检测仪,分别测定每个布点内部3个监测点距

地面垂直高度0.20 m处PM_{2.5}浓度值,并测定布点外部距地面0.20 m处PM_{2.5}浓度值作为对照,1 min 记数1次,每次测定10 min,据此计算3种植被结构的净化系数(布点外部PM_{2.5}浓度值与布点内部3个监测点PM_{2.5}浓度值平均值之差)。

表1 8种常用地被植物形态特性

Table 1 Morphological characteristic of the eight kinds of ground cover plants

序号 No.	植物名称 Plant name	属名 The genus name	拉丁名 Latin name	花色 Color	植物形态 Plant morphology
1	八宝景天	景天属	<i>Sedum</i>	淡粉	块根胡萝卜状,茎直立,叶对生,少有互生或3叶轮生,矩形至卵状矩形,基部渐狭,边缘有疏锯齿,无柄。伞房花序顶生;花密生,花梗稍短,或与花等长
2	玫红景天			粉红	
3	‘紫花’鸢尾	鸢尾属	<i>Iris</i>	深紫	根状茎粗壮,叶直立或略弯曲,深绿色,剑形,花大,花被管喇叭形,外花被裂片椭圆形或倒卵形,内花被裂片倒卵形或圆形
4	‘黄褐’鸢尾			黄褐	
5	‘白花’玉簪	玉簪属	<i>Hosta</i>	纯白	根状茎粗厚,叶卵状心形、卵形或卵圆形,顶生总状花序,花单生或2~3朵簇生,筒状漏斗形,花的外苞片卵形或披针形,内苞片很小
6	‘法兰西’玉簪			淡紫	
7	‘红霞’萱草	萱草属	<i>Hemerocallis</i>	深红	短根状茎,粗壮窄长纺锤形肉质纤维根,叶基生,条状宽线形,对排成两列,圆锥花序顶生。花大,筒形,有小披针形苞片
8	‘问候’萱草			橘黄	

1.2.4 太原市PM_{2.5}浓度数据测定。该研究所用数据由Dust mate 粉尘检测仪测定,包括太原市尖草坪、小店、桃园、南寨和晋源5个检测点,测定2017年4—8月PM_{2.5}浓度的日均值。5个检测点分布于太原市各区域,基本可代表太原城区PM_{2.5}的污染状况,太原市PM_{2.5}浓度的日均值由这5个检测点PM_{2.5}浓度日均值的平均值表示,并由此求得太原市PM_{2.5}浓度的月均值。

1.3 数据分析 测得试验数据均采用Excel 2010进行计算、作图。

2 结果与分析

2.1 太原市常用地被植物对PM_{2.5}等细颗粒物的吸附效果比较 该试验测试了8个地被植物品种在山西大学校园、东中环机动车快速路 and 市中心柳巷的吸附PM_{2.5}等细颗粒物的能力。从植物叶片吸附尘埃叶片质量来看,白花玉簪吸附细颗粒物的能力最强,比最弱的八宝景天高99.3%;从植物叶片1g鲜重附尘量观察,白花玉簪吸附细颗粒物的能力同样最强,比德国鸢尾“紫花”高2.2倍,比萱草“红霞”高4倍;从观测地点分析,4种植物可能受到机动车尾气的影响,吸附细颗粒物的能力比大学校园和城市闹区强,其中,鸢尾、景天、萱草3种植物大学校园中吸附细颗粒物均少于城市闹区,这可能与绿地面积较大有关,而玉簪在大学校园吸附的细颗粒物较多,吸附空气中静态细颗粒物较强,可能与叶片自身具有较深沟壑有关,且从单位植株的叶片面积来说,2个玉簪品种优势较大(表2)。

2.2 不同植物叶片对PM_{2.5}等细颗粒物吸附能力的影响 利用样地试验数据,绘制柱状图对比4种植物单位面积阻滞吸附PM_{2.5}细颗粒物的差异(图1)。从所测数据可

知,4种植物单位面积吸附PM_{2.5}等细颗粒物能力依次为玉簪、鸢尾、萱草、景天,其中玉簪在机动车道吸附细颗粒物最高。吸附细颗粒物累积量和每种植物吸附细颗粒物的平均值见图2。由图2可知,玉簪、鸢尾、萱草、景天单位面积吸附细颗粒物量均值分别为0.73、0.60、0.50、0.37 mg/cm²,可见景天叶片吸附PM_{2.5}等细颗粒物的效果最差。4种植物的叶面积累计值及平均值见图3,玉簪的叶面积累积值最大,景天最小。植物对PM_{2.5}等细颗粒物的吸附能力效果和叶表面粗糙程度呈正相关^[13]。王建辉等^[14]研究了植物单位叶面积的滞尘量,发现植物具有褶皱的叶表滞尘效果较好,而光滑或有蜡质的植物叶片滞尘效果较差。景天叶片蜡质光滑,玉簪叶片褶皱较深,因此玉簪单位面积吸附PM_{2.5}等细颗粒物的量最大,景天相对最小。

2.3 不同植被结构对PM_{2.5}等细颗粒物吸附能力的影响 一般而言,利用同样地PM_{2.5}浓度差异值来反映同样地净化PM_{2.5}的能力差异,可能会因样地内颗粒物浓度差异和气流影响使试验数据产生一定的误差。该试验通过样地外空气PM_{2.5}浓度值与样地内部3个布点PM_{2.5}浓度均值差(净化系数)来反映该地被植物吸附PM_{2.5}的能力,避免上述原因引起的误差,结果具有一定的准确性。3种植被结构净化系数见图4,3种植被结构净化系数均为正值。通常情况下,植物群落内PM_{2.5}平均浓度显著小于植物群落外时,认为该植物群落具有较高的滞尘效应^[15],这表明大学校园的乔灌木植被结构对PM_{2.5}的阻滞吸附效果较好,而城市闹区的单乔木和机动车道的乔草植被结构对PM_{2.5}的阻滞吸附作用较弱。3种植被结构阻滞吸附PM_{2.5}能力从大到小依次为乔灌木、乔草、乔木,说明丰富的植物群落结构不仅能够提高

绿地覆盖率,达到相应的景观效果,还可以更好地净化空气中的颗粒物,创造出更好的生态环境,这与 Beckett 等^[16]的研

究结论一致,即植物树冠结构、枝叶密度与大气颗粒物的吸附效应存在一定的相关性。

表2 8种常用地被植物吸附PM_{2.5}等颗粒物统计

Table 2 Statistics of adsorption of PM_{2.5} in the eight kinds of ground cover plants

地被植物类型 Ground cover plant type	植物名称 Plant name	地点 Site	叶片数 Number of leaf	吸附尘埃 叶片质量 Adsorbing the weight of dust leaf//g	叶片鲜重 Fresh weight of leaf//g	叶片干重 Dry weight of leaf//g	吸附尘埃 质量 Adsorption of dust weight//g	1g鲜重 附尘量 Fresh weight per gram g/g	1g干重 附尘量 Dry weight per gram g/g
鸢尾 <i>Iris germanica</i> L.	德国鸢尾“紫花”	大学校园	5	9.202	9.085	1.850	0.117	0.013	0.063
		机动车道	5	8.652	8.485	1.666	0.167	0.020	0.100
		城市闹区	5	7.492	7.361	1.340	0.132	0.018	0.098
	德国鸢尾“黄褐”	大学校园	5	9.007	8.968	1.646	0.039	0.004	0.024
		机动车道	5	12.501	12.415	2.369	0.086	0.007	0.036
		城市闹区	5	10.941	10.874	2.222	0.067	0.006	0.030
玉簪 <i>Sedum spectabile</i>	白花玉簪	大学校园	5	8.652	8.485	1.666	0.166	0.020	0.100
		机动车道	5	6.453	6.182	1.401	0.271	0.044	0.193
		城市闹区	5	7.492	7.361	1.340	0.131	0.018	0.098
	法兰西玉簪	大学校园	5	10.941	10.874	2.222	0.067	0.006	0.030
		机动车道	5	12.501	12.415	2.369	0.086	0.007	0.036
		城市闹区	5	9.007	8.968	1.646	0.039	0.004	0.024
景天 <i>Hemerocallis fulva</i>	八宝景天	大学校园	4	3.197	3.196	0.327	0.002	0.001	0.005
		机动车道	4	4.652	4.633	0.445	0.019	0.004	0.043
		城市闹区	4	6.751	6.741	0.563	0.010	0.001	0.018
	玫红景天	大学校园	4	4.517	4.514	0.373	0.003	0.001	0.009
		机动车道	4	4.880	4.853	0.363	0.027	0.006	0.074
		城市闹区	4	4.737	4.726	0.345	0.011	0.002	0.033
萱草 <i>Hosta plantaginea</i>	萱草“红霞”	大学校园	5	8.177	8.147	1.547	0.030	0.004	0.019
		机动车道	5	7.295	7.218	1.528	0.077	0.011	0.051
		城市闹区	5	6.012	5.968	1.178	0.044	0.007	0.037
	萱草“问候”	大学校园	5	4.808	4.786	1.091	0.022	0.005	0.020
		机动车道	5	5.956	5.900	1.139	0.056	0.010	0.049
		城市闹区	5	6.216	6.190	1.196	0.026	0.004	0.022

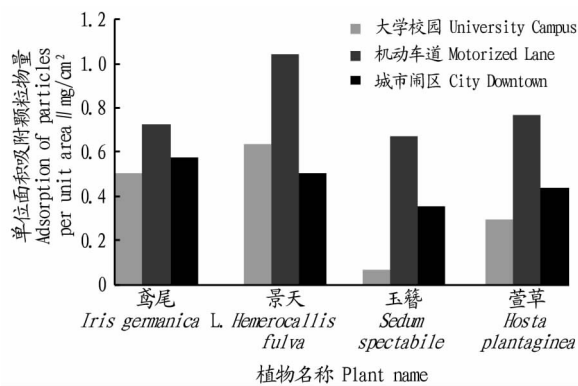


图1 4种植物吸附PM_{2.5}等细颗粒物量比较

Fig. 1 Comparison of the PM_{2.5} amount that the four plants arrested

2.4 常用地被植物在太原市景观建设中的意义 太原市夏秋两季空气干燥,汽车尾气和沙尘天气对空气中细颗粒物PM_{2.5}的贡献较大。将2017年4—8月太原市PM_{2.5}浓度的月均值见图5。由图5可知,2017年4月太原市PM_{2.5}浓度的月均值最高,达65.35 μg/m³,一方面可能与多数园林地被植物此时均未长成有一定关系,另一方面也可能是由于城市集中供暖刚刚结束,空气中仍存在较多燃煤残留物所致,而其余月份PM_{2.5}浓度的月均值差异不大,空气质量等级始终维持

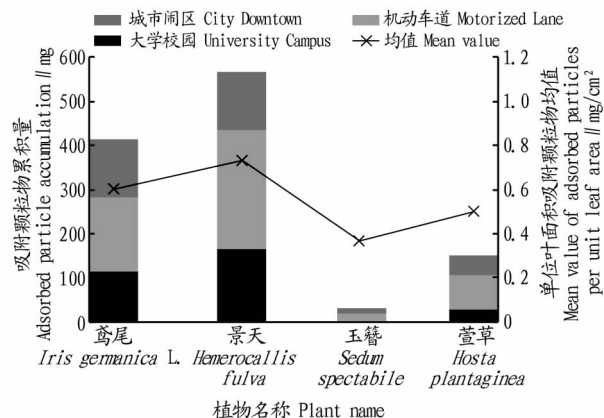


图2 植物吸附PM_{2.5}等细颗粒物累积量与单位面积吸附量均值

Fig. 2 Cumulative amount of PM_{2.5} that arrested by plants and the amount of PM_{2.5} that arrested by per unit area

在良好等级。韩业林等^[17]测定了太原市全年PM_{2.5}浓度值,也认为夏季PM_{2.5}浓度最低,冬季污染程度最高,这与冬季采暖燃煤增多有关。

鸢尾、景天、萱草和玉簪是太原市最为常用的绿化地被植物,是太原市夏秋季园林景观绿化的重要植物材料。王蕾等^[18]研究了针叶树叶面附着颗粒物的理化特性,发现低矮叶片比高处叶片的细颗粒物吸附密度大,这表明地被植物在

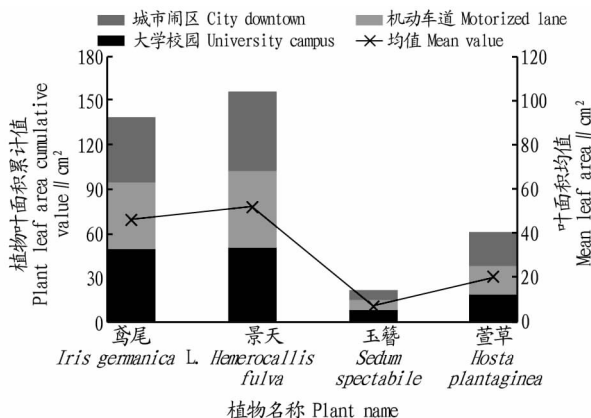


图3 植物总面积累计值与平均值

Fig.3 Total area of every test plant and the average value

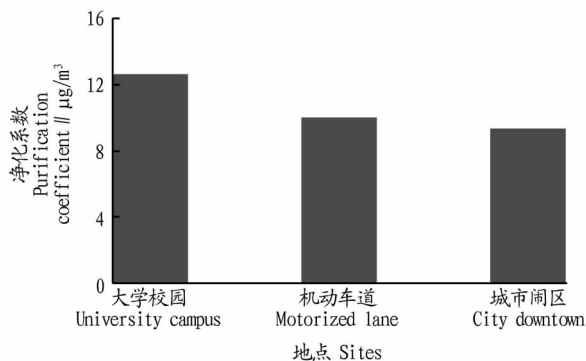
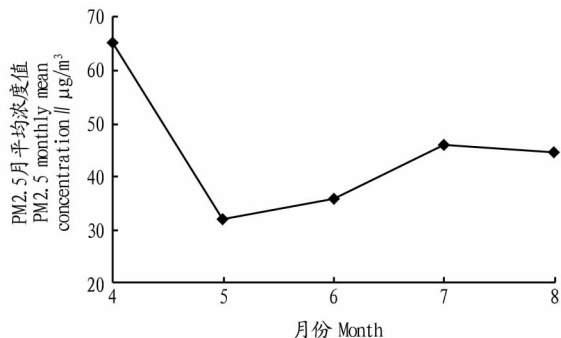


图4 不同植被结构净化系数

Fig.4 Purification coefficient of different vegetation structures

PM_{2.5}等细颗粒物的吸附方面具有较大的位置优势。高壮的乔木能够阻滞大气中的降尘,而地被植物可以吸附地面上的扬尘。在太原夏秋两季,沙尘和尾气导致低空中 PM_{2.5} 的浓度增多,而乔灌木种对阻滞吸附低空中 PM_{2.5} 的能力有限,只有低矮的地被植物可以有效吸附阻滞细颗粒物。因

图5 2017年4—8月太原市平均PM_{2.5}浓度比较Fig.5 Comparison of average PM_{2.5} concentration in Taiyuan from April 2017 to August

此,鸢尾、景天、萱草和玉簪等常用地被植物能够在夏秋两季的滞尘中发挥重要作用。

3 结论

(1)根据样地试验数据,4种常用地被植物单位叶面积吸附 PM_{2.5} 等细颗粒物的能力从大到小依次为玉簪、鸢尾、萱草、景天,究其原因可能与自身叶片形态特征有关。在细颗粒物吸附效果比较中,4种常用地被植物阻滞吸附 PM_{2.5} 等细颗粒物的能力也以玉簪属植物最强。

(2)基于3种植被结构的净化系数,阻滞吸附 PM_{2.5} 能力较强的植被结构为乔灌木相结合,单乔木对 PM_{2.5} 的阻滞吸附作用较弱。

(3)太原市夏秋季 PM_{2.5} 浓度以4月最高,鸢尾、玉簪、景天和萱草是太原市夏秋园林中极为常用的地被植物,不仅是太原市两季景观绿化的重要植物材料,同时也具有重要的生态作用。

参考文献

- [1] 吴兑,刘敬汉,梁延刚,等. 粤港细粒子(PM_{2.5})污染导致能见度下降与灰霾天气形成的研究[J]. 环境科学学报,2012,32(11):2660-2669.
- [2] 董凤鸣,莫运政,李国星,等. 大气颗粒物(PM₁₀/PM_{2.5})与人群循环系统疾病死亡关系的病例交叉研究[J]. 北京大学学报(医学版),2013,45(3):398-404.
- [3] 徐映如,王丹侠,张建业,等. PM₁₀和PM_{2.5}危害、治理及标准体系的概况[J]. 职业与健康,2013,29(1):117-119.
- [4] 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.
- [5] HWANG H J, YOOK S J, AHN K H. Experimental investigation of submicron and ultrafine soot particle removal by tree leaves[J]. Atmospheric environment, 2011, 45(38):6987-6994.
- [6] 郭伟,申屠雅瑾,郑述强,等. 城市绿地滞尘作用机理和规律的研究进展[J]. 生态环境学报,2010,26(6):1465-1470.
- [7] 金立敏,蔡曾煜,姚昆德. 20种常绿地被植物在苏州地区的引种栽培观察[J]. 江苏农业科学,2006(1):87-89.
- [8] 黄苏珍,顾颀,善安. 鸢尾属(*Iris* L.)植物的杂交育种[J]. 植物资源与环境学报,1998,7(1):35-39.
- [9] 伍世平,王君健,于志熙. 11种地被植物的耐阴性研究[J]. 武汉植物学研究,1994,12(4):360-364.
- [10] 裴保华,彭伟秀,张东林. 富贵草耐阴性的研究[J]. 河北林学院学报,1994,9(3):205-209.
- [11] 石爱平,王红利,郭睿,等. 紫花地丁的几种抗逆性指标研究初探[J]. 北京农学院学报,1997,12(1):48-52.
- [12] 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.
- [13] 杨洪斌,邹旭东,汪宏宇,等. 大气环境中PM_{2.5}的研究进展与展望[J]. 气象与环境学报,2012,28(3):77-82.
- [14] 王建辉,刘奕清,邹敏. 永川城区主要绿化植物的滞尘效应[J]. 环境工程学报,2013,7(3):1079-1084.
- [15] 古琳,王成,王晓磊,等. 无锡惠山三种城市游憩林内细颗粒物(PM_{2.5})浓度变化特征[J]. 应用生态学报,2013,24(9):2485-2493.
- [16] BECKETT K P, FREER-SMITH P H, TAYLOR G. The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites[J]. Arboricultural journal, 2000, 24(2/3):209-230.
- [17] 韩业林,王飞. 太原市细颗粒物PM_{2.5}的时空变化特征及其户外锻炼决策的研究[J]. 体育科技文献通报,2017,25(2):46-47.
- [18] 王蕾,哈斯,刘连友,等. 北京市六种针叶树叶面附着颗粒物的理化特征[J]. 应用生态学报,2007,18(3):487-492.