

北京市9种常见绿化树种吸收积累SO₂能力研究

王荣新, 辛学兵*, 裴顺祥, 郭嘉, 吴迪

(中国林业科学研究院华北林业实验中心, 北京 102300)

摘要: [目的] 探究北京市9种常见绿化树种吸收积累SO₂能力, 择优筛选净化大气理想树种, 为未来北京城区绿化结构调整提供科学依据。 [方法] 采用BaSO₄比浊法测定北京市9种常见绿化树种在不同污染条件下叶片硫含量, 通过计算相对吸硫量并利用平均污染指数法评价其对SO₂的吸收净化能力, 比较相互间差异性, 筛选出吸收净化SO₂能力强的树种。 [结果] 表明: ①不同污染条件下, 同种绿化树种叶片硫含量及相对吸硫量普遍存在显著性差异, 随着环境污染水平的增强, 叶片硫含量和相对吸硫量呈现逐渐增高的趋势; ②相同污染条件下, 不同绿化树种吸收净化SO₂能力普遍存在显著性差异, 表现为早柳吸收能力极强, 其平均相对吸硫量2.38 mg·g⁻¹, 平均污染指数为2.23; 国槐吸收能力强, 其平均相对吸硫量1.18 mg·g⁻¹, 平均污染指数为2.09; 臭椿、黄栌、毛白杨、色木槭吸收能力中等; 榆树、侧柏、油松吸收能力相对较弱。 [结论] 不同污染环境条件下, 同种绿化树种叶片硫含量和相对吸硫量均呈现出随着环境污染水平逐渐的增强而逐渐升高的趋势; 而在相同污染环境条件下, 不同绿化树种叶片硫含量和相对吸硫量均存在显著性差异。早柳和国槐可以作为北京市城市绿化用以净化SO₂的理想树种。

关键词: 关键词: SO₂; 绿化树种; 硫含量; 相对吸硫量; 吸收积累能力; 北京

中图分类号: S731.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)03-0392-07

Sulfur Dioxide Absorption and Accumulation Capacity of 9 Common Urban Greening Tree Species in Beijing

WANG Rong-xin, XIN Xue-bing, PEI Shun-xiang, GUO Jia, WU Di

(Forestry Experiment Center of North China, Chinese Academy of Forestry, Beijing 102300, China)

Abstract: [Objective] To choose the ideal greening species for Beijing by evaluating the sulfur dioxide absorption and accumulation capacity of 9 common urban greening tree species in Beijing, and to provide scientific basis for structure optimization of urban greening in the future. [Method] BaSO₄ turbidimetry was used to determine the sulfur contents in the sample leaves under different pollutant conditions. Then the relative sulfur absorption capacity and average contaminative index were calculated to evaluate the sulfur dioxide absorption and accumulation capacity. By comparing the dissimilarity, the ideal greening species were screened out. [Result] (1) There is significant difference in sulfur contents and relative sulfur absorption capacity among species under different pollutant conditions. The capacity is positively correlated with the pollution levels. (2) There are obvious differences in sulfur dioxide absorption and accumulation capacity among the 9 species under same pollutant conditions. It is proved that *Salix matsudana* is the best (the average relative sulfur absorption capacity is 2.38 mg·g⁻¹ and the average contaminative index is 2.23), followed by *Sophora japonica* (the average relative sulfur absorption capacity is 1.18 mg·g⁻¹ and the average contaminative index is 2.09), *Ailanthus altissima*, *Cotinus coggygria*, *Populus tomentosa* and *Acer mono* are the medium, and *Ulmus pumila*, *Platycladus orientalis* and *Pinus tabuliformis* are poorer. [Con-

收稿日期: 2016-01-30

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(CAFYBB2014MA017)

作者简介: 王荣新, 硕士研究生, 主要从事人工林生态系统结构与功能研究。电话 010-69820652; E-mail: winrx@foxmail.com

* 通讯作者: 辛学兵, 副研究员。主要从事森林培育与森林生态研究。电话 010-69843002; E-mail: xinxb01@163.com

clusion] *Salix matsudana* and *Sophora japonica* could be the ideal species for urban greening in Beijing.

Keywords: sulfur dioxide, greening tree species; sulfur content; relative sulfur absorption capacity; absorption capacity; accumulation capacity; Beijing

北京市作为我国政治、文化、国际交往、科技创新中心,建国以来高速发展成为国际性大都市。高速发展的同时也带来了相应的环境问题,首当其冲的就是大气污染问题^[1]。SO₂是大气污染物中主要污染物之一,具有危害影响广、数量大的特点,不仅能够促进酸雨的形成,腐蚀城市基础设施建设、艺术品等,而且能够直接对人体的呼吸系统产生危害^[2]。园林绿化树木是城市生态环境的重要组成部分,具备吸收一定浓度范围内的大气污染物尤其是SO₂的能力,这一点在许多专家学者研究中得到证实^[3-6]。不同树种的环保功能不同,吸收净化SO₂的能力也不尽相同^[7],所以对本土常见绿化树种吸收净化SO₂能力做针对性研究具有十分重要的现实意义。

有关绿色植物与SO₂的相关关系研究较多,如高吉喜等^[8]研究了SO₂对植物新陈代谢的影响;Simonnich^[9]探究并证实植物吸收是清除大气中硫化物等污染物的主要途径;陈卓梅等^[10]对比分析了42种绿色植物对SO₂的抗性并做深入研究;一些国内外专家学者^[11-13]进一步通过实地调查并在污染环境中进行栽培实验,利用人工熏气法结合植物生理指标深度分析了抗性机理。以上研究多为从植物生理层面探讨植物与SO₂的关系,而以筛选净化SO₂城市绿化树种的针对性研究相对较少,部分学者^[14-19]采用了设立污染区及清洁区计算植物相对吸硫量的方法,进而评价绿色植物吸收SO₂的能力,本方法能很好的排除其他因素干扰,且应用较为广泛,胡舒等^[15-19]采用此方法对我国几个省市地区植物对大气SO₂净化能力及修复功能做相关研究,筛选出了一些吸收SO₂能力强的树种,结果虽对北京市选择绿化树种有一定参考性,但就北京市地理位置、污染情况、树种分布等相关条件的特殊性,有必要做进一步研究。本研究借鉴了这一方法,先采用有便捷的可操作性的BaSO₄比浊法^[20-21]处理植物叶片样本测定硫含量,再通过计算出叶片相对吸硫量、平均污染指数,并分析各污染环境下各树种叶片吸收积累SO₂的规律的基础上,综合评价被测树种对SO₂的吸收积累能力,筛选出吸收净化SO₂能力强的北京市常见绿化树种,可以为未来北京城区绿化提供

依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北京市地处华北平原北部,位于115.7°~117.4° E, 39.4°~41.6° N,平均海拔43.5 m,为典型的北温带半湿润大陆性季风气候,年平均日照时数在2 000~2 800 h,年平均气温10~12℃,年平均降雨量626 mm,主要集中在6—8月。北京市地带性植被类型主要以暖温带落叶阔叶林及温带针叶林为主,树种丰富,常见树种主要有侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carrière)、旱柳(*Salix matsudana* Koidz)、榆树(*Ulmus pumila* L.)、国槐(*Sophora japonica* Linn.)、毛白杨(*Populus tomentosa* Carr.)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样区选择 以北京市环保局公布的2009—2013年北京市环境状况公报中各行政区SO₂年度平均浓度分布情况为基本依托,结合相关区域污染源情况分析,最终在北京市内城区、城郊确定选取4个调查样地,设置4种不同空气污染程度试验样区,分别为重度污染区(海淀区紫竹院公园及周边绿地)、中度污染区(石景山区老山驾校及周边绿地)、轻度污染区(门头沟区九龙山及周边绿地)和清洁对照区(门头沟区鲁家山循环经济基地及周边绿地)。以上4个样区的空气中SO₂平均浓度分别为35.8、25.6、21.2和19.6 μg·m⁻³。



图1 样区位置示意图

Fig. 1 Sketch of the sample areas

1.2.2 供试树种选择 在北京市林业局公布的北

京市城市绿地现有绿化树种调查的基础上,踏查 4 个调查样区附近绿地植被生长分布情况,遵循所选树种在北京市内应用频次高、分布泛度广、宜栽性强、生长良好、功能性全面等原则,选取 9 种常见绿化树种作为供试材料,分别为侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carrière)、榆树(*Ulmus pumila* L.)、国槐(*Sophora japonica* Linn.)、毛白杨(*Populus tomentosa* Carr.)、旱柳(*Salix matsudana* Koidz.)、臭椿(*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle)、黄栌(*Cotinus coggygria* Scop.)、色木槭(*Acer mono* Maxim.)。为排除生长情况影响,同种树种在不同污染区样本选择必须满足树龄、树高以及胸径一致或大致相同,基本情况见表 1。

表 1 供试树种的基本情况

Table 1 Basic situation of the tested species

树种 Species	生活型 Life form	生长状况 Growth status	
		树高/m Height	胸径/cm DBH
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	常绿乔木	8 ± 1.62	9 ± 2.13
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	常绿乔木	10 ± 2.16	16 ± 1.24
榆树 <i>Ulmus pumila</i>	落叶乔木	8 ± 1.72	9 ± 1.62
国槐 <i>Sophora japonica</i>	落叶乔木	7 ± 1.54	13 ± 2.13
毛白杨 <i>Populus tomentosa</i>	落叶乔木	12 ± 1.23	14 ± 2.08
旱柳 <i>Salix matsudana</i>	落叶乔木	7 ± 1.86	15 ± 1.86
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	落叶乔木	5 ± 1.35	9 ± 1.52
黄栌 <i>Cotinus coggygria</i>	落叶小乔木	3 ± 1.12	5 ± 1.46
色木槭 <i>Acer mono</i>	落叶乔木	7 ± 0.97	7 ± 1.21

1.2.3 样叶的采集及预处理 2015 年 8 月 3 日至 6 日在北京市内所选 4 个试验样区分别对所选 9 种树种采取样叶,同一样区同种树种至少选取 3 株,并要求所采样植株必须满足树龄、树高以及胸径一致或大致相同。为排除垂直梯度、风向等因素影响,在树干外围上中下及东西南北四个方向均匀采摘叶片,每个样本称取 400 g 装入自封袋中,当日带回实验室后,首先将自封袋内叶片分别放入大量自来水中清洗以清除表面附着物,然后对洗净叶片使用去离子水冲洗,置于干净网格架上沥干水分,置入恒温烘箱中,温度设定 80℃ 温度放置 2 ~ 3 小时直至烘干。将烘干后的样本使用粉碎机进一步粉碎后过 0.2 mm (80 目)筛。最终所得样本分别标记,并放入干燥器中留存待用。

1.2.4 标准曲线绘制 采用比浊法^[20-21] 配备标准溶液,溶液浓度分别设置为 0, 20, 40, 60, 80, 100 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 定容后,通过设定波长为 440 nm 的原子吸收分光光度计测定吸光度,绘制标准曲线。本研究

所得标准曲线方程为, $y = 47.68x - 0.3205$, 式中 x ——溶液吸光度, y ——相应硫含量, 相关系数为 $R^2 = 0.996$ 。

1.2.5 叶片硫含量计算 每次从干燥器中取出一份已标记处理后的样本,准确称取 0.2 g 置于 100 mL 三角瓶中,并加入 5 mL 配置好的消化液(1.7 g 偏钒酸铵, 7.5 g 重铬酸钾, 1 200 mL 高氯酸, 1 050 mL 浓硝酸),待样品湿润后,放置在电热器上逐步升温至 80℃ 以下加热,直至消化液呈现为淡绿色且不再冒黄烟而冒白烟,并且溶液中出现淡红色的沉淀物时停止加热。冷却至室温后,再加入 10 mL 配好的混合酸(由 20 mL 盐酸, 50 mL 冰醋酸, 20 mL 磷酸混合配制)后过滤,最后稀释定容至 25 mL。定容后吸取 1.00 mL 该液体于 25 mL 比色管中,按照标准曲线的方法^[20-21] 测定。同一样品设置 3 个重复测定,结果取其平均值,最后利用公式计算该样本叶片硫含量: 叶片硫含量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) = $E * V0 / (1000 * V * W)$

其中, E ——标准曲线中查得的相应硫含量 (μg); $V0$ ——定容后消化液的总体积 (mL); V ——为比浊测定时用的消化液体积 (mL); W ——分析用的样品重量 (g)。

1.2.6 叶片相对吸硫量与平均污染指数 叶片的相对吸硫量^[22] 即被测树种在各个污染样区与清洁对照区的叶片硫含量的差值。计算相对吸硫量的目的是量化绿化树种对 SO_2 的吸收能力。为了进一步评价被测树种吸硫能力,计算平均相对吸硫量后,采用平均污染指数法^[23-24] 计算树种的平均污染指数 (TW),将其作为树种净化能力的评价指标。平均污染指数计算公式为:

$$TW = \sum_{i=1}^n C_i / n$$

$$C_i = C_m / C_k$$

式中, C_i 为污染指数, C_m 为采样区某种树的叶片硫含量, C_k 为对照区对应树种叶片硫含量, n 为相应树种所处污染区数量。

1.2.7 数据统计分析 采用 SPSS 18.0 统计分析软件对测定数据进行单因素方差分析 (ANOVA)、相关性分析,使用“最小显著差数法”进行多重比较,使用“组内连接”、“欧氏距离法”做系统聚类分析;对聚类分析结果采用组内观察值数目不等的单项分组资料的方差分析法;采用 origin pro 8.0 软件制作相关性示意图。

表2 北京市不同污染区域9种供试树种叶片硫含量的比较

Table 2 Comparison of leaf sulfur contents between 9 species from different polluted areas in Beijing

树种 Species	叶片硫含量 Leaf sulfur contents/(mg·g ⁻¹)			
	重度污染区 Heavily polluted area	中度污染区 Moderately polluted area	轻度污染区 Lightly polluted area	清洁对照区 CK plots
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	1.52 ± 0.03hA	1.23 ± 0.01hB	1.03 ± 0.02iC	0.79 ± 0.01hD
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	1.77 ± 0.02fA	1.39 ± 0.04fB	1.08 ± 0.01hC	0.92 ± 0.01eC
榆树 <i>Ulmus pumila</i>	1.73 ± 0.03fA	1.32 ± 0.05gB	1.16 ± 0.02fC	0.97 ± 0.01dD
国槐 <i>Sophora japonica</i>	3.15 ± 0.01bA	1.95 ± 0.01bA	1.68 ± 0.02bB	1.08 ± 0.01eC
毛白杨 <i>Populus tomentosa</i>	2.46 ± 0.01cA	1.83 ± 0.01cB	1.42 ± 0.01cC	1.15 ± 0.04bD
旱柳 <i>Salix matsudana</i>	6.98 ± 0.03aA	3.27 ± 0.02aB	2.67 ± 0.01aC	1.93 ± 0.02aD
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	2.01 ± 0.04dA	1.49 ± 0.03dB	1.28 ± 0.01dC	0.84 ± 0.03gD
黄栌 <i>Cotinus coggygia</i>	1.95 ± 0.01eA	1.51 ± 0.05dB	1.21 ± 0.03eC	0.88 ± 0.01fD
色木槭 <i>Acer mono</i>	1.68 ± 0.02gA	1.43 ± 0.01eB	1.13 ± 0.01gC	0.83 ± 0.02gD

注:同列数据后不同小写英文字母表示树种间差异性显著 ($P < 0.05$),同行数据后不同大写英文字母表示污染区间差异性显著 ($P < 0.05$)。表3同。

2 结果与分析

2.1 各污染区被测树种之间叶片硫含量的比较

2.1.1 不同污染样区同种绿化树种的叶片硫含量的比较 由表2可知,在不同污染程度样区间,9种供试树种叶片硫含量均表现出随着样区污染程度的增加而升高的趋势,具体表现为在清洁对照区 < 轻度污染区 < 中度污染区 < 重度污染区。除国槐在重度污染区与中度污染区、油松在轻度污染区与清洁对照区间表现出无明显差异外,其他7种被测树种叶片硫含量分别在重度污染区与中度污染区、中度污染区与轻度污染区、轻度污染区与清洁对照区之间对比均呈显著性差异 ($p < 0.05$)。同种树种叶片硫含量在不同污染样区间变化范围依次为:侧柏 0.79 ~ 1.52 mg·g⁻¹、油松 0.92 ~ 1.77 mg·g⁻¹、榆树 0.97 ~ 1.73 mg·g⁻¹、国槐 1.08 ~ 3.15 mg·g⁻¹、毛白杨 1.15 ~ 2.46 mg·g⁻¹、旱柳 1.93 ~ 6.98 mg·g⁻¹、臭椿 0.84 ~ 2.01 mg·g⁻¹、黄栌 0.88 ~ 1.95 mg·g⁻¹、色木槭 0.83 ~ 1.68 mg·g⁻¹。其中,旱柳在清洁对照区与重度污染区差异最为明显,差值

达到 5.05 mg·g⁻¹;而侧柏差值最小,为 0.73 mg·g⁻¹。

2.1.2 相同污染样区不同绿化树种的叶片硫含量的比较 进一步分析表2,在相同污染程度样区内对不同绿化树种进行分析比较,被测9种绿化树种的叶片硫含量即积累硫元素的能力总体上表现出旱柳、国槐、毛白杨3种树种均高于其他树种,侧柏均为最低的规律,且均呈显著性差异 ($p < 0.05$)。重度污染区内叶片硫含量从大到小的顺序为:旱柳 > 国槐 > 毛白杨 > 臭椿 > 黄栌 > 油松 > 榆树 > 色木槭 > 侧柏,浮动范围在 6.98 ~ 1.52 mg·g⁻¹之间,除油松与榆树间差异不显著外均呈现显著性差异;中度污染区内叶片硫含量从大到小的顺序为:旱柳 > 国槐 > 毛白杨 > 黄栌 > 臭椿 > 色木槭 > 油松 > 榆树 > 侧柏,浮动范围在 3.27 ~ 1.23 mg·g⁻¹之间,除臭椿与黄栌差异不显著外均呈现显著性差异;轻度污染区内叶片硫含量从大到小的顺序为:旱柳 > 国槐 > 毛白杨 > 臭椿 > 黄栌 > 榆树 > 色木槭 > 油松 > 侧柏,浮动范围在 2.67 ~ 1.03 mg·g⁻¹之间,各树种间均呈现显著性差异。

表3 北京市不同污染样区9种供试树种叶片相对吸硫量及平均污染指数的比较

Table 3 Comparison of leaf sulfur capacity and average pollution index between 9 species from different polluted areas

树种 Species	相对吸硫量 Sulfur absorption capacity/(mg·g ⁻¹)			均相对吸硫量 Average sulfur capacity	平均污染指数 TW
	重度污染区 Heavily polluted area	中度污染区 Moderately polluted area	轻度污染区 Lightly polluted area		
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	0.73gA	0.44fB	0.24gC	0.47	1.59
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	0.85fA	0.47eB	0.16iC	0.49	1.54
榆树 <i>Ulmus pumila</i>	0.76gA	0.35gB	0.19hB	0.43	1.45
国槐 <i>Sophora japonica</i>	2.07bA	0.87bB	0.60bC	1.18	2.09
毛白杨 <i>Populus tomentosa</i>	1.31cA	0.68cB	0.27fC	0.75	1.66
旱柳 <i>Salix matsudana</i>	5.05aA	1.34aB	0.74aC	2.38	2.23
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	1.17dA	0.65cB	0.44cC	0.75	1.90
黄栌 <i>Cotinus coggygia</i>	1.07eA	0.63cB	0.33dC	0.68	1.77
色木槭 <i>Acer mono</i>	0.85fA	0.60dB	0.30eC	0.58	1.70

2.2 各污染区被测树种之间叶片净化吸收 SO₂ 能力比较

2.2.1 不同污染样区同种绿化树种的叶片相对吸硫量的比较 由表3可知,在不同污染程度样区间,9种供试树种叶片相对吸硫量均表现出随着样区污染程度的增加而升高的趋势,具体表现为在轻度污染区 < 中度污染区 < 重度污染区,这与叶片含硫量规律相同。除榆树在中度污染区与轻度污染区间表现出无明显差异外,其他8种被测树种叶片相对吸硫量分别在重度污染区与中度污染区、中度污染区与轻度污染区、轻度污染区与清洁对照区之间对比均呈显著性差异($p < 0.05$)。同种树种叶片相对吸硫量在3种污染样区间变化范围依次为:侧柏 0.24 ~ 0.73 mg · g⁻¹、油松 0.16 ~ 0.85 mg · g⁻¹、榆树 0.19 ~ 0.76 mg · g⁻¹、国槐 0.60 ~ 2.07 mg · g⁻¹、毛白杨 0.27 ~ 1.31 mg · g⁻¹、早柳 0.74 ~ 5.05 mg · g⁻¹、臭椿 0.44 ~ 1.17 mg · g⁻¹、黄栌 0.33 ~ 1.07 mg · g⁻¹、色木槭 0.30 ~ 0.85 mg · g⁻¹。其中,与叶片含硫量相同的是早柳表现出差异最为明显,差值达到 4.31 mg · g⁻¹;而侧柏差值最小,为 0.49 mg · g⁻¹。

2.2.2 相同污染样区不同绿化树种的叶片相对吸硫量的比较 进一步分析表3,在相同污染程度样区内对不同绿化树种进行分析比较,被测9种绿化树种的相对吸硫量即吸收硫元素的能力总体上表现为:早柳、国槐、毛白杨三种树种均高于其他树种,侧柏均为最低的规律,且均呈显著性差异($p < 0.05$)。同样与叶片含硫量规律相同。重度污染区内叶片相对吸硫量从大到小的顺序为:早柳 > 国槐 > 毛白杨 > 臭椿 > 黄栌 > 色木槭 = 油松 > 榆树 > 侧柏,浮动范围在 5.05 ~ 0.73 mg · g⁻¹之间,除油松与色木槭同样为 0.85 mg · g⁻¹以及侧柏与榆树间差异不显著外,其他均呈显著性差异;中度污染区内叶片相对吸硫量从大到小的顺序为:早柳 > 国槐 > 毛白杨 > 臭椿 > 黄栌 > 色木槭 > 油松 > 侧柏 > 榆树,浮动范围在 1.34 ~ 0.35 mg · g⁻¹之间,除臭椿、黄栌和毛白杨三者间差异不显著外均呈显著性差异;轻度

污染区内叶片相对吸硫量从大到小的顺序为:早柳 > 国槐 > 臭椿 > 黄栌 > 色木槭 > 毛白杨 > 侧柏 > 榆树 > 油松,浮动范围在 0.74 ~ 0.16 mg · g⁻¹之间,各树种间均呈现显著性差异。

2.2.3 不同绿化树种平均相对吸硫量及平均污染指数比较

由表4方差分析结果可知,北京市9种被测树种的平均相对吸硫量和平均污染指数的P值分别为0.000和0.047,均呈显著性差异。以平均相对吸硫量和平均污染指数两项指标综合对9种被测树种吸收净化SO₂能力进行评级,进行聚类分析。结果如图2所示,被测9种绿化树种在污染区内吸收SO₂能力可划分为四个等级,分别为极强(早柳)、强(国槐)、中(黄栌、色木槭、毛白杨、臭椿)、弱(侧柏、油松、榆树)。具体表现为早柳吸收SO₂极强,其平均相对吸硫量 2.38 mg · g⁻¹,平均污染指数为2.23;国槐吸收能力强,其平均相对吸硫量 1.18 mg · g⁻¹,平均污染指数为2.09;臭椿、黄栌、毛白杨、色木槭吸收能力中等;而榆树、侧柏、油松吸收能力相对较弱。不同等级间两项指标均存在极显著性差异(表5),表明聚类分析结果可靠。

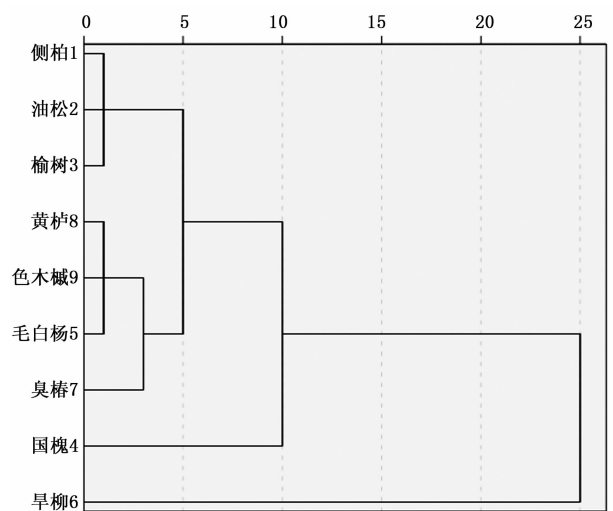


图2 9种供试树种平均叶片相对吸硫量和平均污染指数综合系统聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of leaf sulfur absorption capacity and average pollution index between 9 species

表4 北京市9种被测树种的平均相对吸硫量和平均污染指数方差分析

Table 4 Variance analysis of leaf sulfur capacity and average pollution index between 9 species from different polluted areas

	平均相对吸硫量 Average sulfur capacity					平均污染指数 TW				
	平方和	DF	均方	F	P	平方和	DF	均方	F	P
组间	37.601	2	18.801	27.455	0.000	6.863	2	3.432	3.470	0.047
组内	16.434	24	0.685			23.733	24	0.989		
总数	54.036	26				30.596	26			

表5 聚类分析结果方差分析
Table 5 Variance analysis of the classification

变异来源 Variation source	平均相对吸硫量 Average sulfur capacity					平均污染指数 TW				
	DF	SS	MS	F	F _{0.01}	DF	SS	MS	F	F _{0.01}
不同等级间	3	3.01	1.00	250	12.1	3	0.49	0.16	20	12.1
误差	5	0.02	0.004			5	0.04	0.008		
总变异	8	3.03				8	0.53			

3 讨论

SO₂ 是大气中的主要污染物之一,植物可以通过多种方式直接或间接吸收净化 SO₂,不同树种对 SO₂ 的净化能力也不同^[6]。本研究发现不同污染环境条件下,同种绿化树种叶片硫含量存在显著性差异,具体表现为重度污染区 > 中度污染区 > 轻度污染区,与罗红艳^[25]等的研究结果一致。并可以进一步推论出,在一定的 SO₂ 污染浓度下,绿化树种对 SO₂ 积累量与其所处环境中 SO₂ 的浓度成正比。由于北京市近年来节能减排等其他环保政策实施效果显著,SO₂ 污染程度也逐年递减,达不到被测植物吸收积累的峰值,故高污染环境条件下植物吸硫规律还需在后续实验中探明。叶片相对吸硫量在重度污染区与轻度污染区差异不显著外,同种绿化树种叶片相对吸硫量存在显著性差异,具体表现为重度污染区 > 中度污染区 > 轻度污染区,与王建辉^[26]等研究结果相同,但与胡舒^[16]等研究中部分树种表现出随着污染程度加深叶片相对吸硫量没有显著增加,甚至减少的结果有所差异,可能与胡舒等所选污染区 SO₂ 浓度较高已达到绿化树种吸收 SO₂ 的临界值有关,也可能因为地理条件等其他环境因子不同,导致叶片对 SO₂ 的吸收机理发生变化,在两地表现出不同的试验结果,具体原因有待后期试验查明。

相同污染环境条件下,不同绿化树种叶片硫含量存在显著性差异。与鲁敏^[3]等在北方地区研究结果相同的是旱柳的叶片硫含量均为最高;而与宋彬^[24]、胡舒^[16]等学者研究结果中国槐、毛白杨两树种叶片硫含量最低或处于中下等水平不同的是,本研究中国槐、毛白杨均表现出了较高的叶片硫含量,因皆为试验区乡土树种,可排除树种适生性的影响,初步分析与所选试验植株林龄、空间结构等因子有关,有待而后再进一步研究核实。不同绿化树种叶片相对吸硫量存在显著性差异,大小排序虽与叶片硫含量略有不同,但整体上保持了旱柳最高,国槐次之,而油松、榆树、侧柏排在最后的趋势,已有研究表

明植物叶片的结构、质地、形态、类型和叶面积都是植物吸收二氧化硫能力的直接影响因子^[27],本研究中两种针叶树种侧柏、油松在各项考察指标中均位列最后,可见单位叶片质量条件下针叶树种对硫元素尤其是 SO₂ 的吸收积累能力较弱。但植物吸收二氧化硫能力只是对大气环境质量调控能力的一个指标,在进行园林、道路等绿化树种选择的时候,仍需考虑整体功能性的综合实力进行分析评价,进而更好的为北京市选取种植净化污染大气的绿化树种提供依据。

4 结论

本研究结果表明,不同污染环境条件下,同种绿化树种叶片硫含量和相对吸硫量均呈现出随着环境污染水平逐渐的增强而逐渐升高的趋势;而在相同污染环境条件下,不同绿化树种叶片硫含量和相对吸硫量均存在显著性差异,吸收 SO₂ 能力可划分为四个等级,分别为极强(旱柳)、强(国槐)、中(黄栌、色木槭、毛白杨、臭椿)、弱(侧柏、油松、榆树)。旱柳、国槐两树种在叶片硫含量、叶片相对吸硫量、平均叶片相对吸硫量、平均污染指数四项考察指标及聚类分析中均排名前二,可见单位叶片质量条件下旱柳和国槐在9种被测树种中对 SO₂ 的吸收积累能力最强,可以作为未来北京市城市绿化中用以净化 SO₂ 的理想树种。

参考文献:

- [1] 缪志鹏. 北京空气污染的经济成因及其治理分析[J]. 时代金融, 2014(10):55-58.
- [2] 何丽. 二氧化硫及其酸雨(雾)对人体的危害[J]. 湖北气象, 1999(1):42-44.
- [3] 鲁敏, 李英杰, 鲁金鹏. 绿化树种对大气污染物吸收净化能力的研究[J]. 城市环境与城市生态, 2002,15(2):7-9.
- [4] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报,1999, 10(05):635-640.
- [5] 刘艳菊, 丁辉. 植物对大气污染的反应与城市绿化[J]. 植物学通报, 2001,18(5):577-586.
- [6] 黄会一, 张有标, 张春兴, 等. 木本植物对大气气态污染物吸收

- 净化作用的研究[J]. 生态学报, 1981, 1(4):335-344.
- [7] 陶久阳, 袁衷利, 张凤歧, 等. 植物对大气 SO₂ 积累特点与净化能力的研究[J]. 辽宁林业科技, 1998(3):29-33.
- [8] 高吉喜. 二氧化硫对植物新陈代谢的影响(I)——对气孔、膜透性与物质代谢的影响[J]. 环境科学研究, 1997, 10(2):36-39.
- [9] Simonich S L, Hites R A. Importance of vegetation in removing polycyclic aromatic hydrocarbons from the atmosphere [J]. Nature, 1994, 370(6484):49-51.
- [10] 陈卓梅, 李庆荣, 杜国坚. 浙江省 42 种园林绿化植物对 SO₂ 气体的抗性 & 吸收能力研究[J]. 浙江林业科技, 2007, 27(6):29-32.
- [11] Hiroaki Ikeda, Toshiki Natori, Tsumugu Totsuka, Hideo Iwaki. High SO₂ resistance of *Clethra barbinervis* established in a smoke-polluted area of Ashio, Tochigi Prefecture, Japan[J]. Ecological Research, 1992(3):363-370.
- [12] Madhoolika Agrawal, P. K. Nandi, D. N. Rao. Effect of ozone and sulphur dioxide pollutants separately and in mixture on chlorophyll and carotenoid pigments of *Oryza sativa*[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1982(4):449-454.
- [13] 王丽华, 李 西, 刘 尉, 等. 四种暖季型草坪草对 SO₂ 的抗性 & 净化能力的比较[J]. 草业学报, 2013, 22(1):225-233.
- [14] Currie B A, Bass B. Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model[J]. Urban Ecosystems, 2008, 11(4):409-422.
- [15] Jim C Y, Chen W Y. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). [J]. Journal of Environmental Management, 2008, 88(4):665-76.
- [16] 胡 舒, 肖 昕, 贾含帅. 不同污染条件下绿化树种对大气二氧化硫吸收积累能力的研究[J]. 北方园艺, 2012(11):69-72.
- [17] 潘 文, 张卫强, 张方秋, 等. 广州市园林绿化植物苗木对二氧化硫和二氧化氮吸收能力分析[J]. 生态环境学报, 2012, 21(4):606-612.
- [18] 种培芳, 苏世平. 4 种金色叶树木对 SO₂ 胁迫的生理响应[J]. 生态学报, 2013, 33(15):4639-4648.
- [19] 宋 彬, 王得祥, 张 义, 等. 13 种园林树种叶片解剖结构与其二氧化硫吸收能力的关系[J]. 西北植物学报, 2015, 35(6):1206-1214.
- [20] 张志杰. 环境污染生物监测与评价[M]. 中国环境科学, 1991.
- [21] 国家环境保护总局. 空气和废气监测分析方法(第 4 版)[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2003.
- [22] 刘艳菊, 丁 辉. 植物叶片相对吸硫量的研究及在绿化中的应用[J]. 城市环境与城市生态, 2003(2):10-12.
- [23] 丁桑兰. 环境影响评价概论[M]. 北京:化学工业出版社, 2001.
- [24] 宋 彬, 王得祥, 张 义, 等. 延安 15 种园林树种叶片硫含量特征分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(5):91-96.
- [25] 罗红艳, 李吉跃, 刘 增. 绿化树种对大气 SO₂ 的净化作用[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(1):45-50.
- [26] 王建辉, 刘奕清, 邹 敏, 等. 永川城区主要绿化植物叶片含硫量及相对吸硫量研究[J]. 安徽农业科学. 2012, 40(20):10577-10580.
- [27] 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 & Pollution Research International, 2012, 19(8):3440-3449.

(责任编辑:崔 贝)