

# 天津市不同污染梯度树木吸滞重金属及硫能力分析

陈波<sup>1</sup>, 鲁少波<sup>2</sup>, 李少宁<sup>1</sup>, 鲁绍伟<sup>1</sup>, 石媛<sup>3</sup>, 李利学<sup>4</sup>

(1. 北京市农林科学院 林业果树研究所 林果业生态环境功能提升协同创新中心, 北京 100093; 2. 河北省林业局, 石家庄 050081; 3. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 4. 河北省承德县五道河林场, 河北 承德 067407)

**摘要:**以天津市主要绿化树种为研究对象,对叶片中重金属元素和硫含量进行了分析。结果表明:各研究区域内重金属污染程度为:昆仑桥(市区)>水上公园(近郊公园区)>蓟县(远郊园林区)>杨柳青庄园(远郊风景区),随着市中心到远郊污染程度降低,不同区域各种树种叶片吸滞重金属程度也随之降低,4个区域树木叶片吸滞污染元素排序大致均为:S>As>Pb>Cu>Cr>Cd;在昆仑桥柳树对各元素的吸滞能力均比较强,槐树吸滞As和Cr能力较强,杨树吸滞Pb和Cr能力较强,白蜡吸滞Cu和As能力较强;水上公园桧柏吸滞Cd和Cr能力较强,龙柏吸滞Cd和As能力较强,白蜡对Pb和Cu吸滞能力较强,柳树对S吸滞能力较强,雪松对各种元素的吸滞能力较强,杨树吸滞各元素能力相对较弱;杨柳青庄园桧柏吸滞Cr能力较强,雪松和龙柏吸滞Pb能力较强,杨树对Cd和Cu吸滞能力较强,杜仲对As和S吸滞能力较强;蓟县雪松吸滞Cr的能力较强,杨树吸滞Cd、S和Cu的能力较强,柳树对各元素的吸滞能力均较强,龙柏对各元素吸滞能力均相对较弱。

**关键词:**污染梯度; 植物叶片; 重金属; 硫; 吸滞能力; 天津市

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)01-0175-08

## Analysis of Heavy Metal and Sulfur Absorption Ability of Trees Under Different Pollution Gradients in Tianjin City

CHEN Bo<sup>1</sup>, LU Shaobo<sup>2</sup>, LI Shaoning<sup>1</sup>, LU Shaowei<sup>1</sup>, SHI Yuan<sup>3</sup>, LI Lixue<sup>4</sup>

(1. Horticulture Ecological Environment Function Promote Collaborative Innovation Center, Forestry and Pomology Institute, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100093, China; 2. Forestry Department of Hebei Province, Shijiazhuang 050081, China; 3. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China; 4. Wudaohe Forest Farm of Chengde County in Hebei Province, Chengde, Hebei 067407, China)

**Abstract:** Taking the main greening tree species as the examples in Tianjin City, we analyzed the heavy metal and sulfur contents in leaves. The results showed that the heavy metal pollution degree was in the sequence: Kunlunqiao (urban area)>Shuishang park (suburban Park area)>Ji County (suburban landscape area)>Yangliuqing Manor (outer suburb scenic area), and the pollution degree decreased from center to the outer suburbs, the absorption heavy metal degree of tree leaves decreased in different regions with the sequence: S>As>Pb>Cu>Cr>Cd for tree leaf absorb pollution element in four regions; in Kunlunqiao, each element of absorption ability was strong for *Babylonica*, absorb lag As and Cr ability were stronger for *Sophora japonica*, strong ability to absorb Pb and Cr for *Populus*, absorb ability of Cu and As were stronger for *Fraxinus chinensis*; in Shuishang Park, Cd and Cr absorption ability was stronger for *Sabina chinensis*, absorption ability of Cd and As was stronger for *Juniperus chinensis*, absorption ability of Pb and Cu was stronger for *Fraxinus chinensis*, S absorption ability was stronger for *Babylonica*, absorbing ability of *Cedrus deodara* was stronger for various elements, *Populus* delay element absorption ability was relatively weak; in Yangliuqing Manor, Cr absorption ability was stronger for *Sabina chinensis*, Pb absorption ability was stronger for *Cedrus deodara* and *Juniperus chinensis*, *Populus* of Cd and Cu absorption ability were stronger, As and S absorption ability of *Eucommia ulmoides* was stronger; in Ji County, hysteresis absorption ability of Cr was

收稿日期:2015-01-04

修回日期:2015-02-04

资助项目:林业公益性行业科研专项“京津城市森林生态服务功能研究”(201204108)

第一作者:陈波(1987—),男,甘肃张掖人,硕士,研究实习员,主要从事城市林业研究。E-mail:zhyechb2010@163.com

通信作者:鲁绍伟(1969—),男,河北秦皇岛人,博士,研究员,主要从事水土保持研究。E-mail:hblsw8@163.com

stronger for *Cedrus deodara*, absorption ability of Cd, S and Cu was stronger for *Populus*, the absorption ability of each element was stronger for *Babylonica*, absorption ability of each element was weak for *Juniperus chinensis*.

**Keywords:** pollution gradient; plant leaf; heavy metal; S; absorption ability; Tianjin City

城市是人类赖以生存的地方,是各种经济、社会活动最频繁的区域。随着城市人口的迅速增加,城市生态环境问题已成为制约国民经济发展和结构变化的重要因素之一<sup>[1]</sup>。城市土壤是植物生长的介质和养分供应者,它直接关系到城市生态环境质量和人类健康<sup>[2]</sup>。随着工业发展和城镇化的推进,大量的工业“三废”物质、生活垃圾、汽车尾气、交通运输等造成城市不同程度的重金属污染<sup>[3-5]</sup>。天津市在城市整体规模上已经步入世界大都市的行列,作为我国北方重要的直辖市,由于城市化进程的加快,重金属的外源输入速率也随之加重。据天津市环境保护局统计,天津市 2007 年烟尘排放总量为 7.38 万 t,其中工业排放量为 6.27 万 t,工业粉尘排放量为 0.94 万 t,在 1999—2007 年,天津市烟尘与工业粉尘的排放量虽然总体呈下降趋势,但排放总量依然维持在较高的水平<sup>[6]</sup>;到 2013 年 11 月,天津南疆港区 TSP 污染指数超过二级标准,已不能满足区域功能的要求<sup>[7]</sup>,城市降尘成为天津重金属污染的主要原因之一,严重影响了天津市民的日常生活,影响了港口城市的对外形象。寻求治理重金属及硫化物等污染物研究迫在眉睫。

植物叶片可通过气孔呼吸将铅、镉大气污染物吸滞降解,从而起到对大气污染的净化作用<sup>[8]</sup>。因此,利用植物修复技术来治理大气污染尤其是近地表大气的混合污染,是近年来国内外研究的热点。黄会一等<sup>[9]</sup>利用盆栽对木本植物吸收大气重金属 Cu, Cr, Pb, Zn 进行了研究,得出树木对大气重金属污染物的吸收具有一定的选择性;20 世纪 90 年代,研究重金属排放量与植物吸收污染量的关系,研究的树种和重金属种类增多<sup>[10-11]</sup>;赵承易<sup>[12]</sup>、鲁敏<sup>[13]</sup>等开展了单一植物不同污染梯度的时空变化研究以及对植物吸滞污染物能力等级的划分。近几年,围绕道路交通林带距离远近吸滞重金属多少研究以及多梯度多树种吸滞污染物时空变化研究<sup>[14]</sup>;国外更多的研究是借助植物理化性质侧重植物吸滞重金属的机理<sup>[15]</sup>,但对于不同污染程度下植物吸滞重金属能力研究相对较少。因此,本文分别选取天津市市区、近郊、远郊园林和风景区常见绿化树种白蜡(*Fraxinus chinensis*)、龙柏(*Juniperus chinensis*)和杨树(*Populus*)等植物叶片对重金属及硫吸滞能力进行相关对比研究,筛选出不同污染条件下对重金属及硫吸滞较强的树种,为天津城市大气污染防治提供理论依据。

## 1 研究区概况

本研究地点选择在天津昆仑桥(市中心)、水上公园(近郊公园)、杨柳青庄园(近郊园林区)和蓟县盘山风景区(远郊山区),分别代表重金属和硫污染由重及轻的污染程度变化。

## 2 研究方法

### 2.1 试验树种选择

依据对天津市常见绿化树种的统计资料和野外调查结果,本研究有重点地选择了 9 个树种,长势中等,树种年龄为 10 a 左右。分别是龙柏、白蜡、杨树、桧柏(*Sabina chinensis*)、雪松(*Cedrus deodara*)、柳树(*Babylonica*)、槐树(*Sophora japonica*)、法桐(*Platanus orientalis*)和杜仲(*Eucommia ulmoides*)。

### 2.2 样品采集

叶片采集时间在 2013 年 5 月 15 日、8 月 26 日、9 月 24 日、11 月 13 日前后,分别代表春、夏、秋、冬 4 个季节。每个季节在各个采样点每个树种选取 3 棵样树(长势良好,树龄相近),在其东、西、南、北 4 个方向的上、中、下 3 个层次均匀采集约 50 个叶片,封存于塑料袋中带回实验室。

### 2.3 样品处理

进行 3 次重复试验测定。采样后的供试材料混合均匀后取样,将带回实验室的叶片用去离子水清洗、晾干,在 105℃下杀青后,65℃烘干至恒重,粉碎,过 100 目筛,备用。

### 2.4 样品测定

不同树种重金属 As, Cd, Cr, Cu, Pb 的测定,称取 0.5 g 样品,用 16 ml HNO<sub>3</sub>+4 ml HClO<sub>4</sub> 消解,定容 50 ml,使用 ICP-OES 等离子发射光谱法(Varian Vista Mpx, 美国 VARIAN 公司);S 的测定,使用 Elementa Vario EL III CHNOS 元素分析仪测定(德国,Elementar)。

## 3 结果与分析

### 3.1 昆仑桥树木叶片吸滞能力分析

由图 1A 可见,叶片中 As 含量全年平均值排序是:槐树(162.36 mg/kg)>白蜡(138.89 mg/kg)>柳树(127.63 mg/kg)>龙柏(126.35 mg/kg)>杨树(121.48 mg/kg)>桧柏(112.90 mg/kg)>雪松(103.22 mg/kg)。各树种叶片中 As 含量随季节变化表现出不同的变化趋

势,桧柏、杨树和槐树在冬季的含量最高,龙柏和雪松在秋季的含量最高,白蜡和柳树在夏季的含量最高。不同树种和不同季节之间不存在显著性差异。

由图 1B 可见,叶片中 Cd 含量全年平均值排序是:柳树(11.31 mg/kg)>桧柏(9.01mg/kg)>槐树(6.89mg/kg)>龙柏(6.78 mg/kg)>杨树(6.45 mg/kg)>雪松(6.04 mg/kg)>白蜡(4.08 mg/kg)。含量最高的柳树是含量最低的白蜡的 2.78 倍。雪松叶片中 Cd 含量随季节变化逐渐降低,大部分树种在春季含量较高,夏季含量较低。各树种在季节之间并无显著性差异,但不同树种之间的差异性显著,柳树叶片的 Cd 含量极显著高于其他树种( $p<0.01$ )。

由图 1C 可见,叶片中 Cr 含量全年平均值排序是:槐树(20.76 mg/kg)>杨树(19.29 mg/kg)>柳树(18.89 mg/kg)>雪松(17.69 mg/kg)>桧柏(11.32 mg/kg)>龙柏(11.31 mg/kg)>白蜡(9.23 mg/kg)。含量最高的槐树是含量最低的白蜡的 2.25 倍。各树种叶片中 Cr 含量随季节变化差异性极大,冬季含量极显著高于其他季节。季节差异性最大的龙柏叶片中,冬季 Cr 含量高达夏季的 50.47 倍。槐树叶片中 Cr 含量极显著高于白蜡( $p=0.028<0.05$ )。

叶片中 Cu 含量全年平均值排序是:白蜡(50.17 mg/kg)>柳树(48.01 mg/kg)>杨树(39.66 mg/kg)>槐树(34.20 mg/kg)>雪松(31.67 mg/kg)>龙柏

(28.46 mg/kg)>桧柏(25.10 mg/kg),阔叶树种的含量显著高于针叶树种,含量最高的白蜡是含量最低的桧柏的 2.00 倍(图 1D)。各树种叶片中 Cu 含量虽然随季节变化呈现出不同的趋势,但均是在春季含量极低,在夏季(白蜡和柳树除外)达到最高值。各树种叶片含量在夏季和秋季极显著高于春季( $p<0.01$ ),白蜡叶片中的 Cu 含量显著高于桧柏( $p=0.041<0.05$ )。

叶片中 Pb 含量全年平均值排序是:杨树(55.75 mg/kg)>柳树(48.72 mg/kg)>雪松(44.96 mg/kg)>桧柏(39.55 mg/kg)>槐树(39.47 mg/kg)>白蜡(33.77 mg/kg)>龙柏(21.33 mg/kg),含量最高的杨树是含量最低的龙柏的 2.61 倍。各树木叶片中 Pb 含量随季节改变,其变化趋势各不相同,季节差异性明显(雪松除外),冬季含量显著高于其他季节(图 1E)。

叶片中 S 含量全年平均值排序是:柳树(7.84 g/kg)>白蜡(3.66 g/kg)>槐树 3.07 g/kg)>杨树(2.64 g/kg)>雪松(1.85 g/kg)>桧柏(1.43 g/kg)>龙柏(1.40 g/kg)(图 1F)。含量最高的柳树是含量最低的龙柏的 5.6 倍。该地点春季叶片中 S 含量显著低于秋季( $p=0.045<0.05$ )和冬季( $p=0.034<0.05$ ),柳树叶片中 S 含量极显著( $p<0.01$ )高于其他各树木,白蜡叶片中 S 含量也极显著高于桧柏( $p=0.003<0.01$ )和龙柏( $p=0.002<0.01$ )。

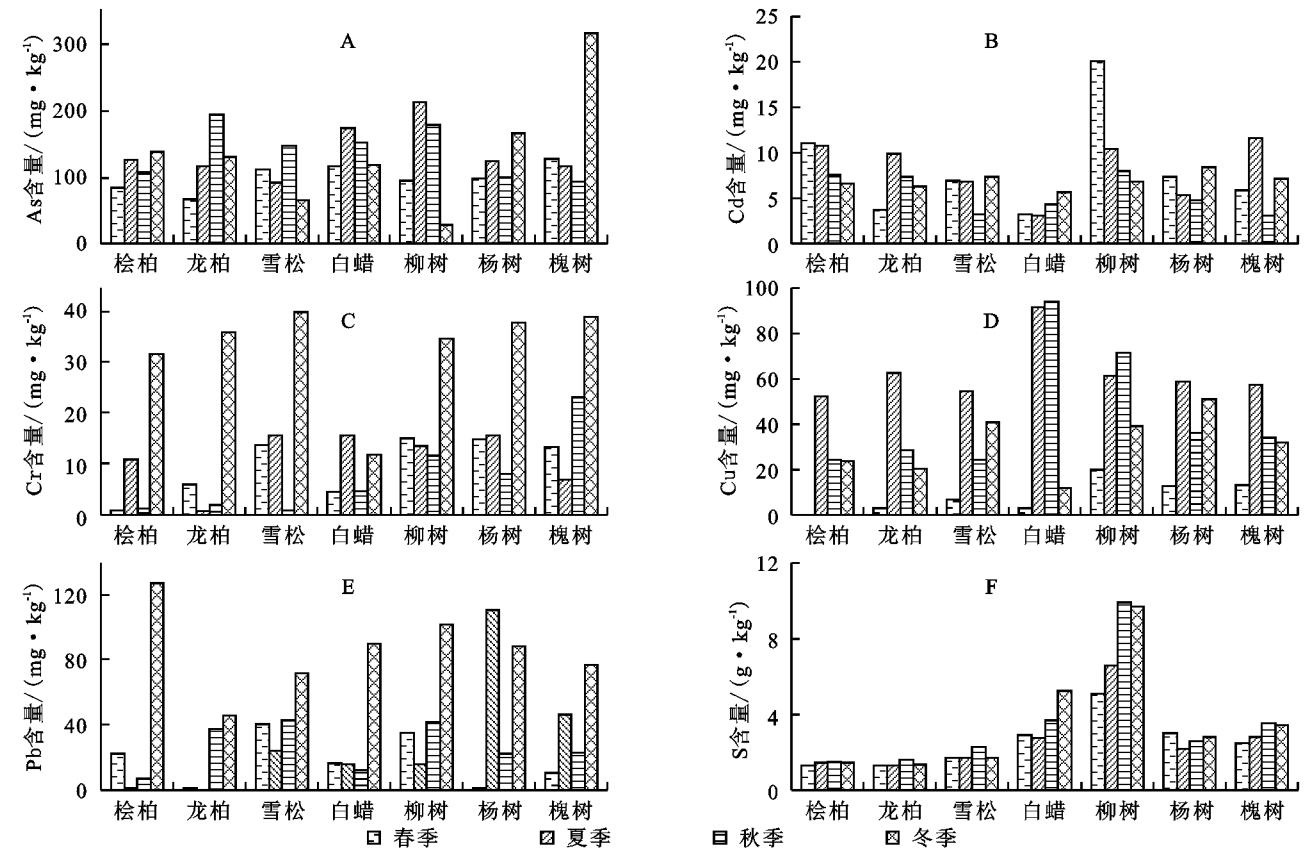


图 1 昆仑桥不同绿化树种叶片吸滞重金属和硫的季节变化

综上所述,昆仑桥树木叶片吸滞污染元素排序大致为: $S>As>Pb>Cu>Cr>Cd$ 。在昆仑桥柳树对各元素的吸滞能力均比较强,槐树吸滞 As 和 Cr 能力较强,杨树吸滞 Pb 和 Cr 能力较强,白蜡吸滞 Cu 和 As 能力较强。不

同树木中吸滞各元素的排序无固定的排序,由测定的各树木每种元素的含量可知,含量的最高值与最低值相差较大,为 1.57~5.60 倍,排序基本为: $S>Cd>Pb>Cr>Cu>As$ (表 1)。其中,对 S 的吸滞能力相差最大。

表 1 昆仑桥不同树木叶片吸滞重金属和硫能力排序

元素	桧柏	龙柏	雪松	白蜡	柳树	杨树	槐树	含量最高与最低比值
As	6	4	7	2	3	5	1	1.57
Cd	2	4	6	7	1	5	3	2.78
Cr	5	6	4	7	3	2	1	2.25
Cu	7	6	5	1	2	3	4	2.00
Pb	4	7	3	6	2	1	5	2.61
S	6	7	5	2	1	4	3	5.60

### 3.2 水上公园树木叶片吸滞能力分析

由图 2A 可见,叶片中 As 含量全年平均值排序是:雪松(171.20 mg/kg)>龙柏(154.96 mg/kg)>白蜡(134.45 mg/kg)>杨树(134.38 mg/kg)>桧柏(130.49 mg/kg)>柳树(114.10 mg/kg)>槐树(114.09 mg/kg)>法桐(83.04 mg/kg),含量最高的雪松是含量最低的法桐的 2.06 倍。雪松和槐树叶片中 As 含量随季节呈逐渐增加的趋势,夏季和冬季树木叶片中 As 含量显著高于春季( $p<0.05$ ),法桐叶片中 As 含量显著低于雪松中含量( $p=0.023<0.05$ )。

由图 2B 可见,各树种在不同季节变化趋势各不相同,但基本呈逐渐降低的趋势。叶片中 Cd 含量全年平均值排序是:龙柏(7.75 mg/kg)>槐树(7.51 mg/kg)>柳树(7.28 mg/kg)>桧柏(7.05 mg/kg)>雪松(6.84 mg/kg)>法桐(6.02 mg/kg)>杨树(5.56 mg/kg)>白蜡(5.41 mg/kg)。水上公园不同树种叶片中 Cd 含量无显著差异,春季极显著高于其他季节( $p<0.01$ ),含量最高的龙柏是含量最低的白蜡的 1.43 倍。

由图 2C 可见,各树木叶片中 Cr 含量季节性变化极显著( $p<0.01$ ),在冬季达到最高值。桧柏叶片中 Cr 含量显著高于法桐叶片中 Cr 含量( $p=0.033<0.01$ ),其他树种无显著性差异。

叶片中 Cr 含量全年平均值排序是:桧柏(23.88 mg/kg)>雪松(18.88 mg/kg)>龙柏(18.78 mg/kg)>白蜡(18.22 mg/kg)>杨树(18.08 mg/kg)>柳树(17.61 mg/kg)>槐树(17.41 mg/kg)>法桐(11.44 mg/kg)。含量最高的桧柏是含量最低的法桐的 2.09 倍。除桧柏外,其他树种排序与 As 含量的排序基本一致。

由图 2D 可见,同一地点(水上公园),夏季叶片中 Cu 含量显著高于其他季节,桧柏、雪松和白蜡叶片中 Cu 含量显著高于龙柏中的含量( $p<0.05$ )。

叶片中 Cu 含量全年平均值排序是:白蜡(44.46

mg/kg)>桧柏(35.31 mg/kg)>雪松(34.76 mg/kg)>柳树(32.79 mg/kg)>杨树(29.03 mg/kg)>法桐(21.57 mg/kg)>槐树(21.05 mg/kg)>龙柏(15.91 mg/kg)。含量最高的白蜡是含量最低的龙柏的 2.79 倍。

由图 2E 可见,大部分树种随季节变化主要呈现先降低再升高的趋势,各树木叶片中 Pb 含量在冬季极显著高于其他季节( $p<0.01$ ),但不同树种之间的 Pb 含量差异性不显著。

叶片中 Pb 含量全年平均值排序是:槐树(55.60 mg/kg)>白蜡(48.65 mg/kg)>雪松(41.06 mg/kg)>柳树(39.97 mg/kg)>桧柏(38.06 mg/kg)>龙柏(37.63 mg/kg)>法桐(29.18 mg/kg)>杨树(28.91 mg/kg)。含量最高的槐树是含量最低的杨树的 1.92 倍。

由图 2F 可见,各树种含量变化趋势随季节呈现不同的变化趋势,桧柏、龙柏和槐树随季节变化其含量逐渐降低;雪松、白蜡和法桐随季节变化含量逐渐增加。该地点叶片中 S 含量季节差异性不显著,柳树叶片中 S 含量极显著( $p<0.01$ )高于其他各树木。

叶片中 S 含量全年平均值排序是:柳树(7.85 g/kg)>法桐(6.37 g/kg)>白蜡(3.75 g/kg)>杨树(2.51 g/kg)>槐树(2.25 g/kg)>桧柏(2.15 g/kg)>雪松(2.03 g/kg)>龙柏(1.71 g/kg)。含量最高的柳树是含量最低的龙柏的 4.59 倍。

由以上分析可知,水上公园树木叶片吸滞污染元素综合排序为: $S>As>Pb>Cu>Cr>Cd$ 。水上公园桧柏吸滞 Cd 和 Cr 能力较强,龙柏吸滞 Cd 和 As 能力较强,白蜡对 Pb 和 Cu 吸滞能力较强,柳树对 S 吸滞能力较强,雪松对各种元素的吸滞能力均较强(S 除外),法桐和杨树吸滞各元素能力相对均较弱(S 除外)。各树木每种元素的含量最高值与最低值相差很大,为 1.43~4.59 倍,排序基本为: $S>Cu>Cr>As>Pb>Cd$ (表 2)。其中对 S 的吸滞能力相差最大,桧柏吸滞 Cr 能力最强。

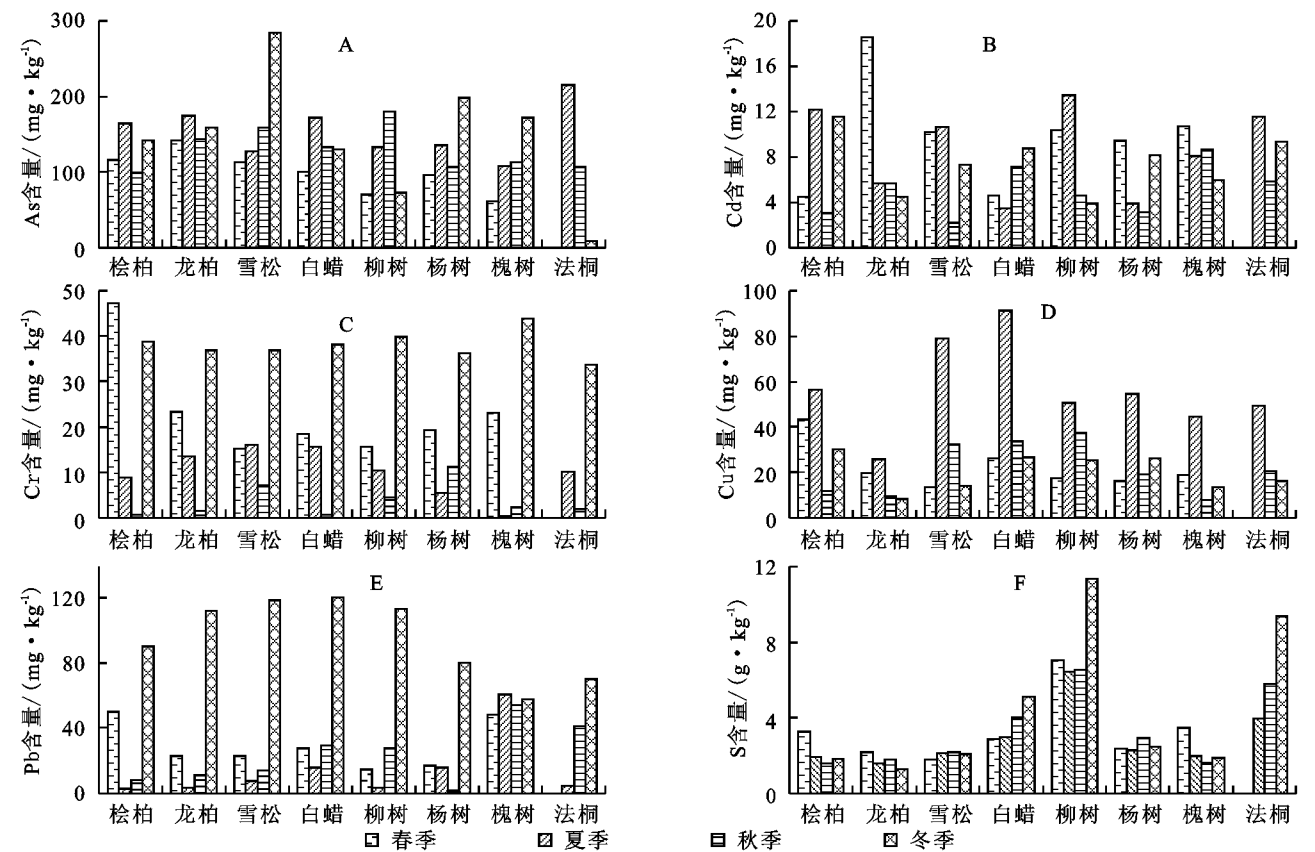


图 2 水上公园不同绿化树种叶片吸滞重金属和硫季节变化

表 2 水上公园不同树木叶片吸滞重金属和硫能力排序

元素	桧柏	龙柏	雪松	白蜡	柳树	杨树	槐树	法桐	含量最高与最低比值
As	5	2	1	3	6	4	7	8	2.06
Cd	4	1	5	8	3	7	2	6	1.43
Cr	1	3	2	4	6	5	7	8	2.09
Cu	2	8	3	1	4	5	7	6	2.79
Pb	5	6	3	2	4	8	1	7	1.92
S	6	8	7	3	1	4	5	2	4.59

3.3 杨柳青庄园树木叶片吸滞能力分析

由图 3A 可见,杨柳青庄园桧柏和槐树叶片中 As 含量随季节呈逐渐增加趋势,叶片中 As 含量全年平均值排序是:杜仲(163.62 mg/kg)>白蜡(161.64 mg/kg)>雪松(156.22 mg/kg)>槐树(142.39 mg/kg)>桧柏(141.96 mg/kg)>龙柏(133.51 mg/kg)>杨树(119.60 mg/kg)>柳树(119.29 mg/kg)。不同绿化树种和不同季节之间无显著差异。含量最高的杜仲是含量最低的柳树的 1.37 倍。

叶片中 Cd 含量全年平均值排序是:槐树(9.79 mg/kg)>桧柏(9.50 mg/kg)>杨树(7.92 mg/kg)>柳树(7.45 mg/kg)>雪松(6.43mg/kg)>龙柏(5.80 mg/kg)>白蜡(5.66 mg/kg)>杜仲(5.18 mg/kg),含量最高的槐树是含量最低的杜仲的 1.89 倍(图 3B)。春季树木叶片中 Cd 含量极显著高于其他季节( $p<$

0.01),不同树种之间无显著性差异。

图 3C 分析,叶片中 Cr 含量全年平均值排序是:桧柏(14.90 mg/kg)>白蜡(11.55 mg/kg)>杨树(11.27 mg/kg)>柳树(9.77 mg/kg)>雪松(8.83 mg/kg)>槐树(8.51 mg/kg)>龙柏(8.39 mg/kg)>杜仲(5.06 mg/kg),含量最高的桧柏是含量最低的杜仲的 2.94 倍。春季和夏季各树种 Cr 含量极显著高于秋季( $p<0.01$ ),桧柏( $p=0.03<0.05$ )、白蜡( $p=0.039<0.05$ )和杨树( $p=0.048<0.05$ )叶片中 Cr 含量显著高于杜仲。

由图 3D 可见,叶片中 Cu 含量全年平均值排序是:白蜡(40.59 mg/kg)>杨树(38.39 mg/kg)>槐树(31.55 mg/kg)>杜仲(28.21 mg/kg)>柳树(25.05 mg/kg)>桧柏(23.06 mg/kg)>雪松(22.73 mg/kg)>龙柏(13.68 mg/kg),含量最高的白蜡分别是含量较低的树种的 2.97 倍、1.79 倍、1.76 倍。桧柏和柳树叶

片中 Cu 含量随季节变化先升高再降低,龙柏和雪松则随季节一直升高,夏季含量极显著高于春季( $p<0.01$ ),白蜡和杨树的 Cu 含量显著高于龙柏( $p<0.05$ )。

叶片中 Pb 含量全年平均值排序是:雪松(55.28 mg/kg)>龙柏(53.64 mg/kg)>白蜡(51.55 mg/kg)>杜仲(44.81 mg/kg)>槐树(39.36 mg/kg)>桧柏(35.85 mg/kg)>柳树(34.82 mg/kg)>杨树(19.91 mg/kg),含量最高的雪松是含量最低的杨树的 2.78 倍(图 3E)。各树木叶片中 Pb 含量变化趋势各不相同,叶片中 Pb 含量冬季极显著( $p<0.01$ )高于其他季

节,龙柏、雪松和白蜡显著高于杨树( $p<0.05$ )。

由图 3F 可见,叶片中 S 含量全年平均值排序是:柳树(9.40 g/kg)>杜仲(5.61 g/kg)>槐树(4.73 g/kg)>白蜡(3.61 g/kg)>杨树(2.20 g/kg)>桧柏(1.83 g/kg)>雪松(1.77 g/kg)>龙柏(1.43 g/kg),含量最高的柳树是含量最低的龙柏的 6.57 倍。除桧柏和龙柏外,其他树种叶片中 S 含量均随季节变化而逐渐增加。该地点叶片中 S 含量春季极显著高于夏季( $p=0.006<0.01$ ),柳树和杜仲叶片中 S 含量极显著( $p<0.01$ )高于其他各树木。

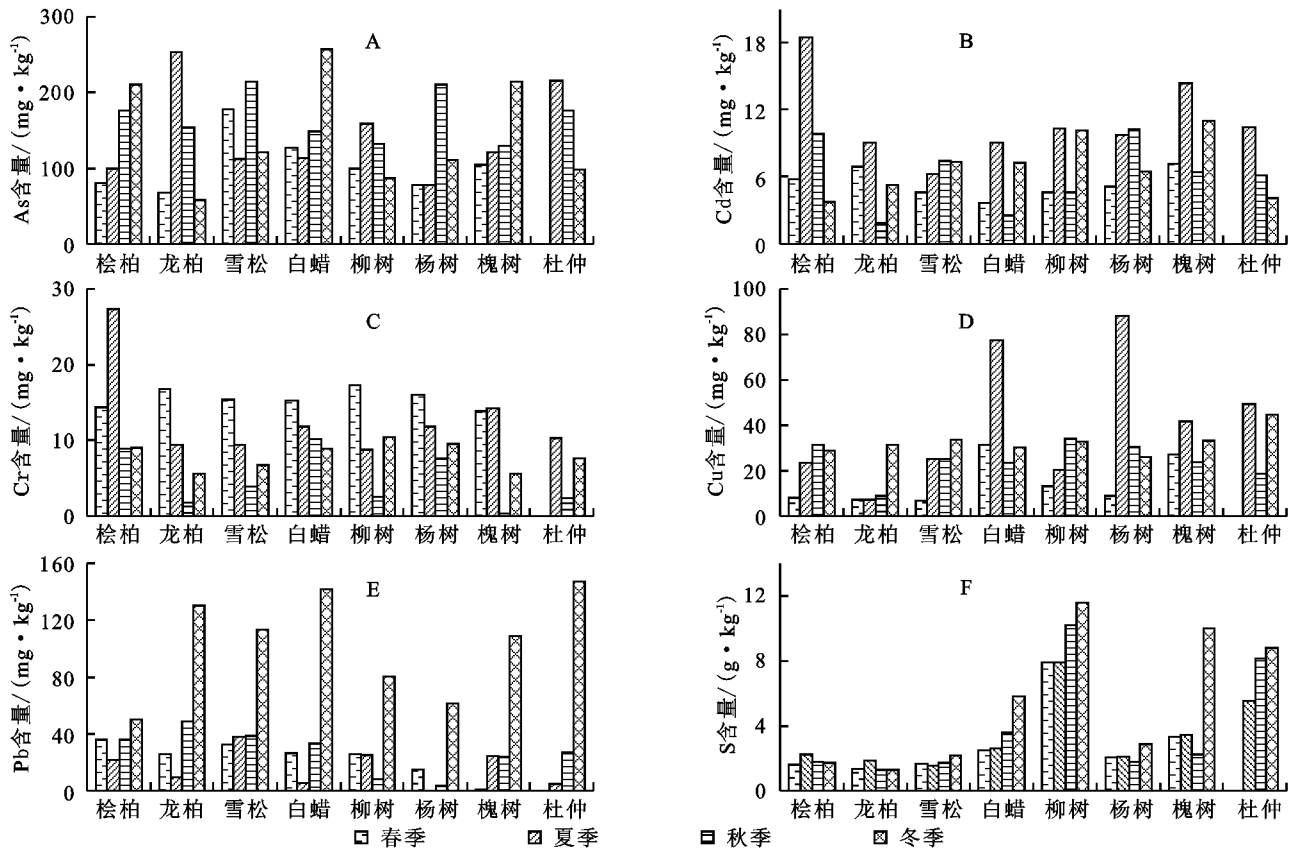


图 3 杨柳青不同绿化树种叶片吸滞重金属和硫季节变化

综上所述,不同污染元素排序大致为: $S>As>Pb>Cu>Cr>Cd$ 。在杨柳青庄园桧柏吸滞 Cr 能力较强,雪松和龙柏吸滞 Pb 能力较强,杨树对 Cd 和 Cu 吸滞能力较强,杜仲对 As 和 S 吸滞能力较强,白蜡吸滞各种元素能力均比较强。各树木每种元素的含量最高值与最低值相差较大,为 1.37~6.57 倍,排序基本为: $S>Cu>Cr>Pb>Cd>As$ (表 3)。其中,对 S 的吸滞能力相差最大。

### 3.4 蓟县树木叶片吸滞能力分析

由图 4A 可见,叶片中 As 含量全年平均值排序是:柳树(146.70 mg/kg)>桧柏(141.49 mg/kg)>槐树(140.01 mg/kg)>白蜡(138.95 mg/kg)>杨树(111.74 mg/kg)>龙柏(105.72 mg/kg)>雪松(76.57 mg/kg)。含量最高的柳树是含量最低的雪松的 1.92 倍。蓟县桧柏、雪松、白蜡、柳树和杨树叶片中 As 含量

在秋季达到最大值随后降低。秋季各树木叶片 As 含量极显著高于春季( $p<0.01$ ),柳树、桧柏、槐树和白蜡叶片中的 As 含量显著( $p<0.05$ )高于雪松。

叶片中 Cd 含量全年平均值排序是:杨树(9.32 mg/kg)>桧柏(8.62 mg/kg)>柳树(7.81 mg/kg)>槐树(7.74 mg/kg)>雪松(6.90 mg/kg)>龙柏(6.77 mg/kg)>白蜡(6.41 mg/kg),含量最高的杨树是含量最低的白蜡的 1.45 倍(图 4B)。蓟县各树木叶片中 Cd 含量春季极显著高于其他季节( $p<0.01$ ),不同树种之间差异不明显。

由图 4C 可见,叶片中 Cr 含量全年平均值排序为:雪松(17.28 mg/kg)>柳树(15.45 mg/kg)>杨树(15.29 mg/kg)>白蜡(14.90 mg/kg)>桧柏(12.58 mg/kg)>槐树(9.85 mg/kg)>龙柏(8.11

mg/kg),含量最高的雪松是含量最低的龙柏的 2.13 倍。各树种含量随季节变化呈现先降低后增高的趋势,冬季叶片中 Cr 含量极显著高于夏季和秋季( $p<0.01$ ),不同树种之间 Cr 含量无显著差异。

表 3 杨柳青庄园不同树木叶片吸滞重金属和硫能力排序

元素	桧柏	龙柏	雪松	白蜡	柳树	杨树	槐树	杜仲	含量最高与最低比值
As	5	6	3	2	8	7	4	1	1.37
Cd	2	6	5	7	4	3	1	8	1.89
Cr	1	7	5	2	4	3	6	8	2.94
Cu	6	8	7	1	5	2	3	4	2.97
Pb	6	2	1	3	7	8	5	4	2.78
S	6	8	7	4	1	5	3	2	6.57

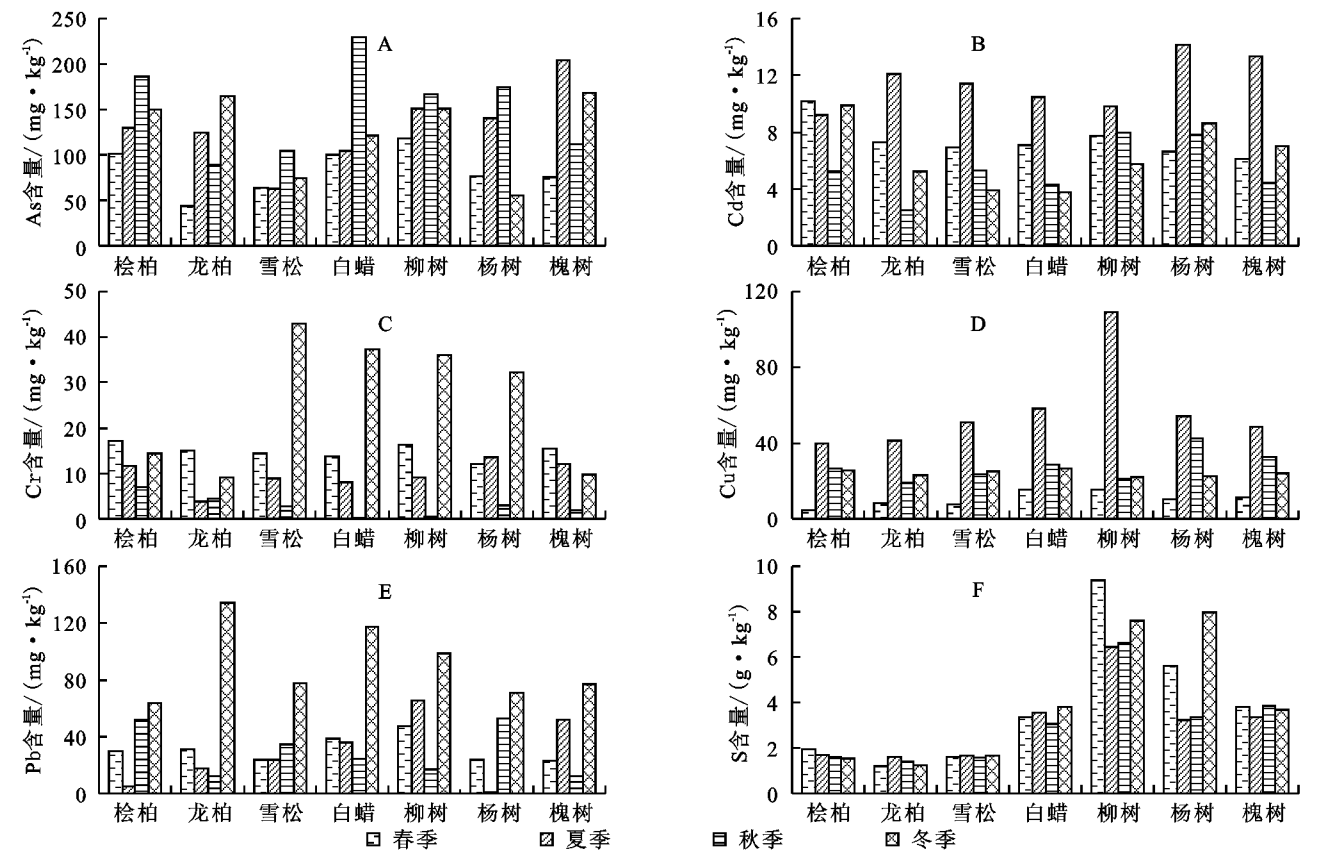


图 4 蓟县不同绿化树种叶片吸滞重金属和硫季节变化

叶片中 Cu 含量全年平均值排序是:柳树(41.76 mg/kg)>杨树(32.28 mg/kg)>白蜡(32.17 mg/kg)>槐树(29.01 mg/kg)>雪松(26.71 mg/kg)>桧柏(24.14 mg/kg)>龙柏(22.77 mg/kg),含量最高的柳树是含量最低的龙柏的 1.83 倍(图 4D)。蓟县叶片中 Cu 含量夏季极显著高于其他季节( $p<0.01$ ),柳树叶片中 Cu 含量全年平均值显著高于龙柏中的含量( $p=0.049<0.05$ ),其他树种之间无显著差异。

由图 4E 可见,叶片中 Pb 含量全年平均值排序是:柳树(56.93 mg/kg)>白蜡(54.07 mg/kg)>龙柏(48.78 mg/kg)>槐树(40.93 mg/kg)>雪松(39.93 mg/kg)>桧柏(37.51 mg/kg)>杨树(37.00 mg/kg)。含量最高的柳树是含量最低的杨树的 1.54 倍。各树

木叶片中 Pb 含量冬季极显著高于其他季节( $p<0.01$ ),不同树种之间含量无显著性差异。

由图 4F 可见,叶片中 S 含量全年平均值排序是:柳树(6.76 g/kg)>杨树(4.53 g/kg)>槐树(3.31 g/kg)>白蜡(3.10 g/kg)>桧柏(1.53 g/kg)>雪松(1.46 g/kg)>龙柏(1.23 g/kg),含量最高的柳树是含量最低的龙柏的 5.50 倍。除柳树和杨树外,其他树种叶片中 S 含量季节差异性很小。柳树、杨树和槐树叶片中 S 含量极显著高于其他各树木( $p<0.01$ )。

由以上分析可知,蓟县树木叶片吸滞污染元素综合排序为: $S>As>Pb>Cu>Cr>Cd$ 。蓟县雪松吸滞 Cr 的能力较强,杨树吸滞 Cd, S 和 Cu 的能力较强,柳树对各元素的吸滞能力均较强,而龙柏对各元

素吸滞能力相对均较弱。各树木每种元素的含量最高值与最低值相差为 1.45~5.50 倍,排序基本为 S >Cr>As>Cu>Pb>Cd(表 4)。其中对 S 的吸滞能力相差最大,杨树吸滞 Cd 能力最强。

表 5  蓟县不同树木叶片吸滞重金属和硫能力排序

元素	桧柏	龙柏	雪松	白蜡	柳树	杨树	槐树	含量最高与最低比值
As	2	6	7	4	1	5	3	1.92
Cd	2	6	5	7	3	1	4	1.45
Cr	5	7	1	4	2	3	6	2.13
Cu	6	7	5	3	1	2	4	1.83
Pb	6	3	5	2	1	7	4	1.54
S	5	7	6	4	1	2	3	5.50

4  结  论

同一地点不同树木吸滞重金属和 S 能力差异显著,在昆仑桥(市区)槐树吸滞 As,Cr 能力较强,杨树吸滞 Pb 能力较强,柳树吸滞 Cu 和 Cd 能力较强;在蓟县(远郊)柳树吸滞 As,Cu,Pb 能力较强,杨树吸滞 Cd 能力较强,雪松吸滞 Cr 能力较强,随着市中心到远郊污染程度降低,不同区域各种树叶吸滞重金属程度也随之降低;吸滞每种元素含量的最高值与最低值相差较大,最高为 2.97 倍。其中对 Cr 的吸滞能力相差最大。不同树木中吸滞各元素的排序无固定的排序。

参考文献:

[1]  庞静. 北京耐土壤重金属污染城市绿化植物的筛选与评价[D]. 北京:北京林业大学,2008.

[2]  Paterson E, Sanka M, Clark L. Urban soils as pollutant sinks: A case study from Aberdeen, Scotland [J]. Applied Geochemistry,1996,11(95):129-131.

[3]  高粱. 土壤污染及其防治措施[J]. 农业环境保护,1992, 11(6):272-273.

[4]  刘维涛. 基于重金属污染修复的城市森林配置模式的初步研究[D]. 南京:南京林业大学,2006.

[5]  陈英旭. 土壤重金属的植物污染化学[M]. 北京:科学出版社,2008.

[6]  刘申,刘凤枝,李晓华,等. 天津公园土壤重金属污染评价及

其空间分析[J]. 生态环境学报,2010,19(5):1097-1102.

[7]  姜涛. 天津港环境污染防治分析与治理研究[J]. 交通信息与安全,2014,4(32):102-107.

[8]  骆永明,查宏光,宋静,等. 大气污染的植物修复[J]. 土壤,2002,34(3):113-119.

[9]  黄会一,张春兴,张有标,等. 木本植物对大气重金属污染物:铅、镉、铜、锌吸收积累作用的研究[J]. 生态学报, 1983,3(4):305-313.

[10]  陈学泽,谢耀坚,彭重华. 城市植物叶片金属元素含量与大气污染的关系[J]. 城市环境与城市生态,1997,10 (1):45-47.

[11]  阮宏华,姜志林. 城郊公路两侧主要森林类型铅含量及分布规律[J]. 应用生态学报,1999,10(3):362-364.

[12]  赵承易,戚琦,季海冰,等. 北京交通干道旁杨树叶中重金属和硫的测定及大气污染状况的研究[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2001,37(6):795-799.

[13]  鲁敏,李英杰. 绿化树种对大气金属污染物吸滞能力 [J]. 城市环境与城市生态,2003,16(1):51-52.

[14]  王成,郅光发,杨颖,等. 高速路林带对车辆尾气重金属污染的屏障作用[J]. 林业科学,2007,43(3):1-7.

[15]  Ugolini F, Tognetti R, Raschi A, et al. *Quercus ilex* L. as bioaccumulator for heavy metals in urban areas: Effectiveness of leaf washing with distilled water and considerations on the trees distance from traffic[J]. Urban Forestry & Urban Greening,2013,12(4):576-584.