褚建民,王燕,王琼,等.油松和侧柏常绿树种对典型污染物的吸滞与富集作用[J].气象与环境学报,2012,28(3):15-20.
CHU Jian-min,WANG Yan,WANG Qiong,et al.Absorption and concentration effects of evergreen species (*Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis*) to typical pollutants[J].Journal of Meteorology and Environment,2012,28(3):15-20.

油松和侧柏常绿树种对典型污染物的吸滞与富集作用

褚建民¹ 王燕² 王琼³ 李少宁² 胡守明⁴ 王叶红⁴

(1. 中国林业科学研究院林业研究所国家林业局林木培育重点实验室,北京 100091;
2. 北京市农林科学院林业果树研究所,北京 100093; 3. 辽宁石油化工大学,辽宁 抚顺 113001;
4. 老秃顶子国家级自然保护区,辽宁 抚顺 113000)

摘要:以城市森林生态系统常绿树种为对象,测定了油松(*Pinus tabulaeformis*)和侧柏(*Platycladus orientalis*)叶片对大气污染物(SO₂、Cl₂)和土壤重金属污染物(Cu、Zn、As、Hg和Pb、Cd和Cr)的吸滞作用与富集作用。结果表明:油松和侧柏具有较强吸滞污染物的作用,对污染物的吸滞能力受环境污染程度、不同生长季节污染元素种类等因素的影响。其中,油松在秋季对S、Cu、Zn、Pb和Hg具有较高的吸附能力,针叶中S、Cu、Zn、Pb和Hg含量平均值分别为2158.75、6.31、31.46、4.05 mg·kg⁻¹和0.08 mg·kg⁻¹;侧柏在秋季对Cu、Zn、Hg和Cd具有较高的吸附能力,叶片中Cu、Zn、Hg、Cd含量平均值分别为4.47、22.47、0.09 mg·kg⁻¹和0.20 mg·kg⁻¹。在不同立地条件下,油松和侧柏对污染物的吸滞与富集量有所差异,其中在土壤污染较重的石景山松林园样地,油松对大气污染物SO₂有较强的吸附能力,侧柏则表现出对Cl₂有较强的吸附能力。对重金属污染物而言,油松和侧柏对Cu、Pb、Cr和As有较高的富集作用。

关键词:油松;侧柏;城市森林;重金属;大气污染物;吸滞作用

中图分类号:X503.235 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-503X(2012)03-0015-06

引言

在城市生态系统中,工业生产、交通运输和其他人为活动造成大气和土壤环境的严重污染^[1]。城市森林作为城市环境的生物过滤器,可吸收大气污染物和土壤重金属污染物,对改善生态环境有着不可替代的作用^[2-4]。城市森林植物在生长发育过程中,通过叶片、树皮和根系的生理活动吸收大气中的污染物质,并将土壤中的重金属富集在植物体内,从而减轻污染程度^[5],因此,探讨绿化植物对城市大气污染物和土壤重金属污染物的吸收和净化具有重要的现实意义。在污染的环境条件下,植物经过长期的适应性,形成了对污染物的抗逆和净化能力^[6-7],可一定程度上吸收大气中的污染物和土壤重金属。城市主要大气污染物SO₂、NO₂、Cl₂和土壤重金属污染物Cu、Zn、Pb、Hg、Cr、Cd及As等在城市环境中的存留状态复杂多样^[4]。目前,有关植物吸滞污染物的研究多以单种污染物为主,缺乏对大气污染物和土壤重金属污染物等复合元素的综合研究^[8-10],而且很多研究未能揭示生长期不同季节的动态变化,从而限制了城市林业生态工程建设中适宜树种的筛选和配置技术的应用,为此,本文以城市森林及绿系统

中常绿树种为对象,通过研究自然状态下油松和侧柏对城市主要污染物的吸滞与富集作用,揭示常绿树种生态修复功能特征与动态规律,可为城市森林生态系统树种选择及其生态服务功能评价提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究材料

研究区域位于北京市西北郊区(39°56'N,116°20'E),地处暖温带半湿润地区,属大陆性季风气候,年平均气温为13℃,1月最冷,平均气温为-3.7℃,7月最热,平均气温为25.2℃;年平均降水量为507.7mm,集中在7—8月;无霜期为189d。研究样地设置在香山公园、北京植物园、延庆石佛寺林区和石景山松林公园。其中香山公园、北京植物园和延庆石佛寺林区污染较小,石景山松林公园污染严重。园区内木本植物以油松和侧柏为主。2010年春季(5月19日)、夏季(8月7日)、秋季(9月27日)和冬季(11月5日),在各样地进行样品采集。每个树种设置3个重复,采集树冠东、南、西、北4个方向的叶片,并考虑树冠上、中、下各部位进行多点采样,将叶片封存于塑料袋中,带回实验室处理。

收稿日期:2011-10-09;修订日期:2011-11-01。

基金项目:北京市科委重点项目(2007-2008)、沈阳市科学技术计划项目(F10-130-9-00)和辽宁省自然科学基金项目(20092080)共同资助。

作者简介:褚建民,男,1975生,助理研究员,主要从事水土保持与荒漠化防治及生态环境监测研究,E-mail:cjmcaf@163.com。

含量的平均值分别为 516.25、448.92、634.40 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 565.02 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。相应地侧柏叶中 S 含量的平均值分别为 1792.81、1353.65、1631.70 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 1649.88 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Cl 含量的平均值分别为 1025.21、553.16、1251.97 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 1263.21 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。由于松林园位于石景山工业区,其油松叶片和侧柏叶片中的 S、Cl 含量均较高。相关研究表明,油松针叶的 S 含量与大气 SO_2 浓度之间呈显著相关性^[12],这与本研究结果一致。当空气中污染物浓度较高时,植物叶片中富集的污染物较多^[13-15],说明石景山附近的工业区对周围环境产生了显著的影响。相同地点油松叶片中的 S 含量显著高于侧柏叶片,而侧柏叶片中的 Cl 含量显著高于油松,这表明,不同树种对 S、Cl 的吸滞能力不同^[16]。

2.2 不同地点油松和侧柏叶片对重金属的富集作用

双因素方差分析表明,油松针叶对重金属的富

集作用在不同地点、不同季节及其交互作用下差异显著($P < 0.05$),其中松林园不同季节 Cu、Cr 含量均显著高于香山、水关和植物园。香山、水关、植物园和松林园四季油松叶片中 Cu 含量的平均值分别为 5.65、4.73、5.13 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 6.59 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;Cr 含量的平均值分别为 3.94、2.73、3.57 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 6.18 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。春夏两季香山与松林园样地油松针叶中 Zn 含量差异显著,4 个样地 Zn 含量的平均值分别为 26.18、20.18、23.31 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 22.11 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。油松针叶中 Pb 含量差异显著($P < 0.05$),夏秋两季香山的 Pb 含量显著高于其他样地($P < 0.05$);4 个样地 Pb 含量的平均值分别为 4.27、1.76、3.58 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 4.36 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。冬季松林园 Hg、Cd 含量显著高于其他地点($P < 0.05$)。油松针叶 As 含量春季在植物园较高,夏季在水关较高,而秋冬季在松林园较高,分别为 0.425、0.583、0.365 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 0.239 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表 1)。

表 1 不同地点和不同季节油松叶片中重金属含量

季节	地点	Cu	Zn	Pb	Hg	Cr	Cd	As
春季	香山	4.002 ± 0.105a	22.585 ± 0.405a	3.103 ± 0.050ac	0.104 ± 0.005a	2.338 ± 0.016a	0.113 ± 0.0026a	0.132 ± 0.0976a
	水关	4.446 ± 0.091b	15.343 ± 0.321b	1.781 ± 0.020b	0.041 ± 0.002b	1.704 ± 0.016b	0.062 ± 0.0025b	0.071 ± 0.0006a
	植物园	2.618 ± 0.052c	14.436 ± 0.205b	2.503 ± 0.055c	0.027 ± 0.005c	1.592 ± 0.010c	0.107 ± 0.0020a	0.507 ± 0.0030b
	松林园	5.150 ± 0.130d	25.025 ± 1.192c	5.236 ± 0.025d	0.050 ± 0.001d	5.314 ± 0.035d	0.136 ± 0.0184c	0.425 ± 0.0050b
夏季	香山	6.850 ± 0.100a	25.015 ± 1.356a	4.275 ± 0.196a	0.115 ± 0.005a	7.156 ± 0.005a	0.200 ± 0.0050a	0.205 ± 0.005a
	水关	4.652 ± 0.141b	19.180 ± 0.286b	2.280 ± 0.082b	0.055 ± 0.005b	5.304 ± 0.050b	0.111 ± 0.0032b	0.583 ± 0.0052b
	植物园	5.947 ± 0.089c	19.430 ± 1.627b	2.181 ± 0.098c	0.047 ± 0.002c	6.774 ± 0.090c	0.098 ± 0.0027c	0.117 ± 0.0021c
	松林园	6.187 ± 0.086d	16.389 ± 0.551c	2.607 ± 0.097d	0.077 ± 0.002d	9.332 ± 0.107d	0.069 ± 0.0005d	0.177 ± 0.0011d
秋季	香山	6.578 ± 0.067a	35.631 ± 1.568a	5.613 ± 0.526a	0.103 ± 0.003a	4.308 ± 0.055a	0.244 ± 0.0062a	0.247 ± 0.0003a
	水关	5.235 ± 0.117b	25.682 ± 1.454b	1.438 ± 0.040b	0.047 ± 0.002b	2.335 ± 0.022b	0.110 ± 0.0002b	0.095 ± 0.0005b
	植物园	6.315 ± 0.104c	38.315 ± 0.665c	5.103 ± 0.064c	0.096 ± 0.005c	3.091 ± 0.010c	0.031 ± 0.0003c	0.247 ± 0.0020a
	松林园	7.110 ± 0.092d	26.205 ± 0.873b	4.065 ± 0.085d	0.086 ± 0.004d	6.295 ± 0.051d	0.020 ± 0.0002d	0.365 ± 0.0050c
冬季	香山	5.180 ± 0.138a	21.508 ± 0.638a	4.075 ± 0.071a	0.063 ± 0.003a	1.970 ± 0.020a	0.069 ± 0.0003a	0.165 ± 0.0002ab
	水关	4.608 ± 0.105b	20.500 ± 1.280a	1.524 ± 0.126a	0.057 ± 0.002a	1.582 ± 0.028b	0.069 ± 0.0003a	0.047 ± 0.0003a
	植物园	5.648 ± 0.096c	21.077 ± 0.897a	4.534 ± 0.051b	0.032 ± 0.005b	2.841 ± 0.010c	0.099 ± 0.0002a	0.071 ± 0.0002a
	松林园	7.908 ± 0.086d	20.833 ± 0.772a	5.513 ± 0.453c	0.080 ± 0.002c	3.782 ± 0.033d	0.059 ± 0.0764a	0.239 ± 0.1775b

注:a、b、c、d 表示 0.05 水平上的显著性差异。

侧柏对重金属的富集作用,在不同地点、不同季节及其交互作用差异显著($P < 0.05$)。侧柏叶片 Cu 含量除春季水关和植物园外,其他季节各地点差异均显著($P < 0.05$)。Zn 含量在春季香山较高,夏冬季松林园较高,秋季植物园较高。叶片中 Pb 含量除夏季植物园较高外均表现为松林园较高。在不同季节 Hg 含量均表现为水关显著低于其他地点($P < 0.05$)。侧柏叶片 Cr 含量在 4 个类型样地差异显著($P < 0.05$),松林园各个季节 Cr 含量均显著高于香山、水关和植物园。春夏秋季 4 个地点侧柏叶片中 Cd 含量差异显著($P < 0.05$)。As 含量春季和夏季植物

园较高,分别为 0.592 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、0.464 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;而秋季和冬季在松林园较高,分别为 0.335 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 0.518 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;侧柏对其他重金属元素的富集能力和季节动态亦呈不同的变化趋势(表 2)。

从不同季节油松和侧柏叶重金属含量平均值可以看出,松林园油松中 Cu、Pb、Cr 和 As 的含量较高,而松林园侧柏中 Cu、Zn、Pb、Hg、Cr 和 As 的含量均较高,可见松林园在本研究选取的采样点中重金属污染最为严重。而水关样地油松叶中 Cu、Zn、Pb、Hg 和 Cr 含量较低,松林园侧柏中 Cu、Zn、Pb 和 Hg 含量较低,可见水关在 4 个取样点中污染较轻。研

究表明,同一树种在相同地点不同季节、不同地点相同季节叶片中的污染物含量均不同(表1和表2),

表 2 不同地点和不同季节侧柏叶片中重金属含量

Table 2 Heavy metals contents in oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*) leaves in different sample sites and different seasons

季节	地点	Cu	Zn	Pb	Hg	Cr	Cd	As
春季	香山	3.666 ± 0.105a	22.178 ± 0.405a	2.866 ± 0.050a	0.005 ± 0.001a	4.494 ± 0.016a	0.030 ± 0.0026a	0.540 ± 0.0976ab
	水关	2.615 ± 0.091b	18.097 ± 0.321b	3.597 ± 0.020b	0.040 ± 0.002b	5.207 ± 0.016b	0.256 ± 0.0025b	0.494 ± 0.0006a
	植物园	2.612 ± 0.052b	19.195 ± 0.205bc	3.320 ± 0.055a	0.008 ± 0.005a	4.278 ± 0.010c	0.110 ± 0.0020c	0.592 ± 0.0030b
	松林园	3.298 ± 0.130c	20.006 ± 1.192c	4.510 ± 0.025c	0.065 ± 0.001c	5.520 ± 0.035d	0.170 ± 0.0184d	0.583 ± 0.0005ab
夏季	香山	4.270 ± 0.100a	18.301 ± 1.356a	2.216 ± 0.196a	0.043 ± 0.005a	2.148 ± 0.005a	0.120 ± 0.0050a	0.154 ± 0.0050a
	水关	3.158 ± 0.141b	20.560 ± 0.286b	1.848 ± 0.082b	0.034 ± 0.005b	2.720 ± 0.050b	0.296 ± 0.0032b	0.177 ± 0.0052b
	植物园	3.416 ± 0.089c	18.124 ± 1.627a	4.560 ± 0.098c	0.066 ± 0.002c	3.053 ± 0.090c	0.151 ± 0.0027c	0.464 ± 0.0021c
	松林园	4.906 ± 0.086d	22.745 ± 0.551c	3.252 ± 0.097d	0.052 ± 0.002d	6.464 ± 0.107d	0.068 ± 0.0005d	0.286 ± 0.0011d
秋季	香山	5.432 ± 0.067a	18.356 ± 1.568a	3.286 ± 0.526a	0.107 ± 0.003a	3.167 ± 0.055a	0.078 ± 0.0062a	0.039 ± 0.0003a
	水关	2.925 ± 0.117b	21.535 ± 1.454b	1.946 ± 0.04b	0.070 ± 0.002b	1.922 ± 0.022b	0.308 ± 0.0002b	0.089 ± 0.0005b
	植物园	4.653 ± 0.104c	29.506 ± 0.665c	2.615 ± 0.064c	0.088 ± 0.005c	2.480 ± 0.010c	0.230 ± 0.0003c	0.139 ± 0.0020c
	松林园	4.885 ± 0.092d	20.485 ± 0.873ab	4.235 ± 0.085c	0.085 ± 0.004c	4.048 ± 0.051d	0.178 ± 0.0002d	0.335 ± 0.0050d
冬季	香山	3.162 ± 0.138a	13.131 ± 0.638a	2.306 ± 0.071a	0.035 ± 0.003a	1.346 ± 0.02a	0.038 ± 0.0003a	0.069 ± 0.0002a
	水关	2.929 ± 0.105b	19.105 ± 1.280b	1.886 ± 0.126a	0.032 ± 0.002a	1.712 ± 0.028b	0.268 ± 0.0003b	0.167 ± 0.0003a
	植物园	4.351 ± 0.096c	15.310 ± 0.897c	3.393 ± 0.051b	0.051 ± 0.005b	2.148 ± 0.010c	0.045 ± 0.0002a	0.226 ± 0.0002a
	松林园	5.545 ± 0.086d	26.316 ± 0.772d	6.140 ± 0.453c	0.05 ± 0.002b	4.307 ± 0.033d	0.218 ± 0.0764b	0.518 ± 0.1775b

注:a,b,c,d表示0.05水平上的显著性差异。

万欣等^[2]研究也认为同一种植物对不同类型污染物富集净化能力不同,不同种植物对同一类型污染物的富集净化能力也不同^[3-4,17],表明植物对污染物的吸附量取决于土壤、气候等因素^[5,18-19]。另外,同种植物由于长期生长在不同的环境条件下,对污染物质的富集作用不同^[20-23]。

2.3 大气与重金属污染物在常绿树叶片中含量的相关性

油松针叶中 S、Cl 及重金属污染物含量的相关性分析显示,油松针叶中大气污染物质 S 和 Cl 含量呈显著正相关($P < 0.05$),S 与重金属污染物 Cu、Zn、Pb、Hg 和 Cr 含量呈显著正相关($P < 0.05$);Cl 与重金属污染物 Cu、Pb 和 Cr 含量呈显著正相关($P < 0.05$),与 As 含量呈显著负相关($P < 0.05$)。针

叶中重金属污染物 Cu-Zn、Cu-Pb、Cu-Hg、Cu-Cr、Zn-Pb、Zn-Hg 和 Hg-Cr 含量呈显著正相关($P < 0.05$),其他重金属污染物含量相关性不显著($P > 0.05$) (表3)。侧柏叶中 S、Cl 及重金属污染物含量的相关性分析显示,侧柏叶中大气污染物质 S 与 Cl 含量呈显著正相关($P < 0.05$),S 与重金属污染物 Cu、Hg 含量呈显著正相关($P < 0.05$),与 Cd、As 呈显著负相关($P < 0.05$),Cl 与重金属污染物 Cu 含量呈显著正相关($P < 0.05$),与 Cd 含量呈显著负相关($P < 0.05$)。重金属污染物 Cu-Zn、Cu-Pb、Cu-Hg、Zn-Cd、Pb-Cr、Pb-As 和 Cr-As 呈显著正相关,Hg-As 呈显著负相关($P < 0.05$),其他重金属污染物含量相关性不显著($P > 0.05$) (表4)。

表 3 油松叶片中 S 和 Cl 及重金属含量的相关性比较(n=3)

Table 3 Correlation coefficients among contents of S, Cl and heavy metals in Chinese pine (*Pinus tabuliformis*) leaves (n=3)

油松	Cl	Cu	Zn	Pb	Hg	Cr	Cd	As
S	0.349 *	0.691 **	0.610 **	0.457 **	0.509 **	0.470 **	ns	ns
Cl	-	0.363 *	ns	0.311 *	ns	0.314 *	ns	-0.285 *
Cu	-	-	0.462 **	0.582 **	0.553 **	0.538 **	ns	ns
Zn	-	-	-	0.600 **	0.598 **	ns	ns	ns
Pb	-	-	-	-	0.475 **	ns	ns	ns
Hg	-	-	-	-	-	0.348 *	ns	ns
Cr	-	-	-	-	-	-	ns	ns
Cd	-	-	-	-	-	-	-	ns

注:ns 为不显著,*为 $P < 0.05$,**为 $P < 0.01$ 。

表4 侧柏叶片中S和Cl及重金属含量的相关性比较($n=3$)Table 4 Correlation coefficients among contents of S, Cl and heavy metals in oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*) leaves ($n=3$)

侧柏	Cl	Cu	Zn	Pb	Hg	Cr	Cd	As
S	0.321 *	0.709 **	ns	ns	0.398 **	ns	-0.449 **	-0.326 *
Cl	-	0.337 *	ns	ns	ns	ns	-0.461 **	ns
Cu	-	-	0.397 **	0.420 **	0.562 **	ns	ns	ns
Zn	-	-	-	ns	ns	ns	0.379 **	ns
Pb	-	-	-	-	ns	0.540 **	ns	0.628 **
Hg	-	-	-	-	-	ns	ns	-0.396 **
Cr	-	-	-	-	-	-	ns	0.691 **
Cd	-	-	-	-	-	-	-	ns

注:ns 为不显著, * 为 $P < 0.05$, ** 为 $P < 0.01$ 。

树木所富集污染物的相关分析,反映了污染物的同源性、差异性以及在城市环境中的组合变化。在同一立地重金属污染物之间存在相关关系,说明其来源途径可能相似^[24-26],其他研究也得出相似的结论^[27-29]。本研究中不同地点油松和侧柏对污染物吸附与富集作用的相关性,可进一步证明汽车尾气排放、工业区废物等对城市环境的影响程度^[30]。

3 结论与讨论

(1)常绿针叶树木对大气污染物和土壤重金属有一定的吸滞作用。松林园油松针叶中 S、Cu、Pb、Cr 和 As 的含量较高,而松林园侧柏叶中 Cl、Cu、Zn、Pb、Hg、Cr 和 As 的含量都较高;水关油松叶中 S、Cl、Cu、Zn、Pb、Hg 和 Cr 的含量均较低,而水关侧柏叶中 S、Cl、Cu、Zn、Pb 和 Hg 的含量也较低。通过对不同地点林木污染物含量的监测,可以有效地研究环境的污染状况。

(2)不同季节油松和侧柏叶片中污染物含量也有所不同,这可能与不同季节污染物的浓度及树木生理生态变化有关。不同树种对不同污染物的吸收有所侧重,油松中 S、Zn、Pb、Hg、Cr 含量高于侧柏,而侧柏中 Cl、Cd、As 高于油松。据此可依不同树种对污染物吸收能力的大小,在不同污染区选择栽植适宜树种,以提高城市森林对污染环境的修复能力。

(3)不同地点油松和侧柏叶中 S、Cl 与重金属含量的相关性表明污染物来源途径可能相似,进一步证明汽车尾气排放、汽车轮胎和道路摩擦、工业区废物等对城市环境的影响程度。

参考文献

- [1] 刘艳菊,丁辉.植物对大气污染的反应及城市绿化[J].植物学通报,2001,18(5):577-586.
- [2] 万欣,关庆伟,邱靖,等.3种垂直绿化植物叶片对Zn、Cu、Pb的富集能力[J].城市环境与城市生态,2010,

23(2):33-35.

- [3] 王爱霞,方炎明.6种交通重金属污染物在悬铃木叶、枝条组织中的分布研究[J].植物研究,2011,31(4):478-488.
- [4] 何蓉,张学星,施莹,等.16种城市绿化树种叶片中铁锰铜锌元素的含量特征[J].西部林业科学,2006,35(1):23-35.
- [5] 魏树和,杨传杰,周启星.三叶鬼针草等7种常见菊科杂草植物对重金属的超富集特征[J].环境科学,2008,29(10):2912-2918.
- [6] 韩素梅.沈阳地区主要树木净化二氧化硫潜力的研究[J].辽宁大学学报:自然科学版,2001,28(2):174-179.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 李汉卿,谢文焕,傅纯彦,等.环境污染与植物[M].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1998.
- [10] Hiromichi M R, Ozgur C E. Basic processes in phytoremediation and some applications to air pollution control[J]. Chemosphere, 2003, 52(9):1553-1558.
- [11] 中国林业科学研究院分析中心,编.现代实用仪器分析方法[M].北京:中国林业出版社,1994.
- [12] 蒋高明.承德市油松针叶硫及重金属含量动态及其与大气SO₂之间的关系[J].生态学报,1995,15(4):407-412.
- [13] 张德强,褚国伟,余清发,等.园林绿化植物对大气二氧化硫和氟化物污染的净化能力及修复功能[J].热带亚热带植物学报,2003,11(4):336-340.
- [14] 胡星明,王丽平,杨坤,等.城市道路旁小蜡叶片对重金属的富集特征[J].环境化学,2009,28(1):89-93.
- [15] 邱媛,管东生,陈华,等.惠州市植物叶片和叶面降尘的重金属特征[J].中山大学学报:自然科学版,2007,46(6):98-102.

- [16] 陆东晖,殷云龙,徐建华,等. 绿化林带对公路环境中重金属和S、N元素的吸收效应研究[J]. 江苏林业科技, 2006, 33(5): 12-17.
- [17] 周小勇,仇荣亮,李清飞,等. 长柔毛委陵菜两个种群对重金属富集和热值的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 0238-0244.
- [18] 骆永明,查宏光,宋静,等. 大气污染的植物修复[J]. 土壤, 2003, 34(3): 113-199.
- [19] 韩阳,李珍珍,刘荣坤. 沈阳地区主要树木净化SO₂潜力及植树定额的估算[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 601-604.
- [20] Wei S H, Zhou Q X. Identification of weed species with hyperaccumulative characteristics of heavy metals[J]. Progress in Natural Science, 2004, 14(6): 495-503.
- [21] Rossini Oliva S, Mingorance M D. Assessment of airborne heavy metal pollution by aboveground plant parts[J]. Chemosphere, 2006, 65(2): 177-182.
- [22] Demirevska-Kepova K, Simova-Stoilova L, Stoyanova Z, et al. Biochemical changes in barley plants after excessive supply of copper and manganese[J]. Environmental and Experimental Botany, 2004, 52(3): 253-266.
- [23] Nikookar K, Moradshahi A, Hosseini L. Physiological responses of *Dunaliella salina* and *Dunaliella tertiolecta* to copper toxicity[J]. Biomolecular Engineering, 2005, 22(4): 141-146.
- [24] Al-Khlaifat A L, Al-Khashmanb O A. Atmospheric heavy metal pollution in Aqaba city, Jordan, using *Phoenix dactylifera* L. leaves[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(39): 8891-8897.
- [25] 郑喜坤,鲁安怀,高翔,等. 土壤中重金属污染现状与防治方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(1): 79-84.
- [26] 朱建军,崔保山,杨志峰,等. 纵向岭谷区公路沿线土壤表层重金属空间分异特征[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 147-153.
- [27] 孙中党,百乙,王平. 大气氟污染的植物监测的研究[J]. 中国环境监测, 1998, 14(2): 11-14.
- [28] 吕海强,刘福平. 化学性大气污染的植物修复与绿化树种选择[J]. 亚热带植物科学, 2003, 32(3): 73-77.
- [29] 王翠香,房义福,吴晓星,等. 21种园林植物对环境污染吸收净化能力研究[J]. 山东林业科技, 2006, 6: 1-2.
- [30] 吴新民,潘根兴. 城市不同功能区土壤重金属分布初探[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 513-517.

Absorption and concentration effects of evergreen species (*Pinus tabuliformis* and *Platycladus orientalis*) to typical pollutants

CHU Jian-min¹ WANG Yan² WANG Qiong³ LI Shao-ning² HU Shou-ming⁴ WANG Ye-hong⁴
 (1. Key Silvicultural Laboratory of State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry, Beijing 100093, China; 3. Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China; 4. National Nature Reserve in Laotudingzi of Fushun, Fushun 113000, China)

Abstract: Evergreen species of Chinese pine (*Pinus tabuliformis*) and oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*) in the urban forest ecosystem were selected in order to determine the absorption and concentration effects of leaves to atmospheric pollutants (SO₂, Cl₂) and heavy metal pollutants (Cu, Zn, As, Hg, Pb, Cd and Cr) in soil. The results indicate that two evergreen species are of stronger absorption ability to pollutants. The absorption ability is influenced by the environmental pollution extent and types of pollutants in the different seasons. Chinese pine (*Pinus tabuliformis*) and oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*) have a higher absorption ability to S, Cu, Zn, Pb, Hg and to Cu, Zn, Hg, Cd in autumn, and their mean concentrations of leaves are 2158.75, 6.31, 31.46, 4.05, 0.08 mg·kg⁻¹ and 4.47, 22.47, 0.09 mg·kg⁻¹, 0.20 mg·kg⁻¹, respectively. The absorption and concentration abilities of the two evergreen species to pollutants are different under the different habitat conditions. In pine forest sample site of Shijingshan with serious soil pollution, Chinese pine (*Pinus tabuliformis*) and oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*) can absorb largely SO₂ and Cl₂, respectively. For the heavy metal pollution, the concentration effects of two evergreen species to Cu, Pb, Cr and As are high.

Key words: Chinese pine (*Pinus tabuliformis*); Oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*); Urban forest; Heavy metal; Air pollutants; Absorption ability