

海口交通要道行道树叶片中重金属含量 累积效用研究

吴少强

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2023年12月25日; 录用日期: 2024年1月19日; 发布日期: 2024年1月26日

摘要

采集海口市龙昆南路和万绿园区域榕树、凤凰木、糖胶树、叶子花、金叶女贞和地毯草6种行道树叶片及土壤样品, 用电感耦合等离子体发射光谱仪检测Cr、Mn、Zn、Cu、Pb、Ni、Co、Cd和Ag共9种重金属含量, 运用SPASS分析土壤重金属和植物叶片中重金属相关系数以及6种植物的重金属富集系数。结果表明: 龙昆南路土壤九种重金属含量均小于参考值, 土壤无明显重金属污染; 六种植物叶片的重金属含量有显著差异, 地毯草对重金属吸收能力突出, 可作为海口市绿化主力。

关键词

重金属, 土壤, 行道树, 叶片富集系数

A Study on the Accumulative Effect of Heavy Metal Content in Tree Leaves along the Main Traffic Routes in Haikou

Shaoqiang Wu

College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Dec. 25th, 2023; accepted: Jan. 19th, 2024; published: Jan. 26th, 2024

Abstract

Leaves and soil samples of five kinds of street trees, *Ficus microcarpa*, *Delonix regia*, *Alstonia scholaris*, *Bougainvillea spectabilis* Willd, *Ligustrum × vicaryi* Rehder and *Axonopus compressus*, were collected from Longkun South Road and Wanlv Park. The contents of Cr, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni,

文章引用: 吴少强. 海口交通要道行道树叶片中重金属含量累积效用研究[J]. 自然科学, 2024, 12(1): 195-203.

DOI: 10.12677/ojns.2024.121023

Co, Cd and Ag were determined by ICP-EIS. The origin of heavy metals in soil and the heavy metal enrichment coefficient of six tree species were analyzed by SPASS. The results showed that the contents of heavy metals in the soil were all lower than the reference value, and there was no heavy metal pollution in the soil. There were significant differences in metal content of the leaves of the six plants. *Axonopus compressus* had outstanding enrichment ability of heavy metals, which could be used as the main greening force in Haikou.

Keywords

Heavy Metals, Soil, Street Tree, Leaf Enrichment Coefficient

Copyright © 2024 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

随着城市化进程不断加速,城市道路对经济发展的作用日益凸显[1] [2] [3]。城市道路的不断发展使城市车流量成倍增长,汽车尾气道路扬尘等交通污染物对道路两侧植物造成严重污染[4] [5] [6] [7]。因此为保障城市生态,提升环境质量,对城市主干道不同行道树叶片中重金属含量的分析测定尤为重要。

海口市龙昆南路是海口市车流量最为密集的主干道之一,对周边建设发挥着核心作用,其发展和演变对当地社会经济发展和生态环境保护至关重要。通过对其范围内行道树叶片中重金属含量的分析研究,既可以了解植物体内重金属富集情况,又能反应周围环境中重金属污染程度,从而为当地重金属污染治理和生态环境保护措施制定提供重要数据,对探寻重金属污染整治的办法和途径具有可观意义[8] [9] [10] [11]。

2. 研究区域现状

海口市位于海南岛北部,北纬 19°32'~20°05',东经 110°10'~110°41'。全市土地面积 2304 平方公里。海口市气候为热带海洋气候,春雨少,夏雨多,秋季多风暴,冬季时常有寒流袭扰。海口市以交通建设发展交通运输业带动城市发展,构架完善发达,通畅便捷的交通网络[12]。由于城市发展速度较快,道路新建进度与快速增加的车流量不匹配,导致现有交通建设过载[13]。这些措施和现象给海口市交通道路周边的环境带来巨大压力,庞大的车流所排放的尾气给土壤理化性质带来严重影响,甚至加剧了个别区域土壤和植物中镉、铅、锌、铜等重金属的积累。

3. 研究方法

3.1. 样地调查

为比较不同区域重金属富集效能,探讨植物重金属富集吸收的影响因素,选取海口市龙昆南路和海口市万绿园为实验样地,具体位置见图 1。两区域的绿化情况如下:龙昆南路:北联椰海大道,南端和绕城公路连接,道路总长 4 公里,道路规划红线宽 60 米。主要乔木行道树有:椰子树、榕树、凤凰木,糖胶树。主要灌木有:叶子花,金叶女贞。主要草本植物有:地毯草。万绿园:坐落于海南省海口市龙华区东北部,总面积 1070 亩。种植各种热带和亚热带植物 350~550 种,园区大部分以各式草甸绿植为主,种植海南本土的各种草灌植物。园内栽种的乔木行道树有:椰子树、棕榈树、糖胶树、榕树、木棉树、

槟榔树，酸豆树。灌木主要有：叶子花、金叶女贞，假连翘。草本植物主要有：地毯草、含羞草，丽蚌草。为统一样本，同时反应不同区域乔、灌、草三类植物对重金属富集效应特征，探讨植物重金属富集的影响因素，特选取乔木：榕树、凤凰木，糖胶树作为乔木行道树样本；选取灌木：叶子花，金叶女贞作为灌木样本；地毯草作为草本植物样本。



Figure 1. Plot location map
图 1. 样地位置图

3.2. 样品的采集和处理

乔木、灌木：对植物的东西南北 4 个部位利用高枝剪和梯子采集叶片样品，装入透明聚氯乙烯袋。
草本植物：设 $0.3\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ 小样方，每个样方内只挖去目标草本植物样本全，每个样点设 4 个样方。采集的植物样本用纯净水洗一遍后再利用超纯水清洗三遍，之后放在空旷处自然风干，后用烘干箱以 100°C 杀青 45 分钟后，在 70°C 的烘箱中烘至恒重。之后人工研磨植物样本，过 120 目尼龙筛，装好保存以备测定以目标乔木，灌木，草本植物为中心，5 米为直径画圆，在三个同心圆交汇处采集表层、10 厘米深处，20 厘米深处土壤，去除杂质后混合在同一密封袋中。土壤样本先摊平在通风干燥的干净室内，待其自然风干后，用捣药杵碾碎较大土块，后用 120 目尼龙筛过滤，装入对应样品袋保存。

对预处理后的植物样本，土壤样本分别进行微波消解；用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-MS Agilent7700x 型)对消解后的待测液中 Cr、Cu、Zn、Ni、Pb、Mn 等 11 种重金属进行测定。

3.3. 数据处理

利用 Excel2021 和 SPSS23 统计软件对实验所得数据进行分析、统计和出图。

植物重金属富集系数计算方法

富集系数：

$$BCF = C/S \quad (1)$$

式中：BCF 为富集系数；C 为植物叶片样品的重金属含量；S 为对应采样点土壤样品重金属含量。

富集系数 BCF 可以评估植物中金属的富集或亏损程度，以此来判断人为活动对植物体内金属元素含量的影响[14] [15] [16]。

4. 结果与分析

4.1. 绿化植物与道路土壤重金属浓度的相关性分析

土壤中铜和植物中所有重金属呈明显负相关($P < 0.05$)，相关系数在-0.07 到-0.79 之间。可能土壤中铜含量抑制了植物叶片对其他重金属的吸收，但影响的方式还有待进一步确定。土壤中银和植物中铜、铅、镍、镉，银呈显著正相关($P > 0.5$)，相关系数分别达：0.90、0.86、0.87、0.86、0.86，可能土壤中银的含量促进了植物对铜、铅、镍、镉这 5 种元素的吸收。土壤中各重金属元素和植物中相对应元素，仅有 Pb 和 Pb，Ag 和 Ag 呈显著正相关($P > 0.5$)其余相关系数在 0.16~0.41 间。导致这种现象的成因尚待进一步考究。具体相关系数见表 1。

Table 1. Correlation analysis of heavy metals in soil and plants

表 1. 土壤与植物重金属相关性分析

	Cr	Mn	Zn	植物 Cu	Pb	Ni	Co	Cd	Ag	
土壤	Cr	0.16	0.02	0.40	0.64	0.50	0.48	0.27	0.41	0.82
	Mn	0.46	0.41	0.63	0.63	0.60	0.61	0.47	0.63	0.67
	Zn	0.53	0.24	0.19	0.67	0.56	0.57	0.38	0.59	0.79
	Cu	-0.79	-0.76	-0.51	-0.24	-0.38	-0.43	-0.45	-0.62	-0.07
	Pb	0.03	0.01	0.31	0.85	0.71	0.66	0.50	0.48	0.95
	Ni	0.38	0.50	0.82	0.34	0.40	0.41	0.36	0.48	0.64
	Co	0.15	0.09	0.21	0.45	0.34	0.35	0.15	0.39	0.64
	Cd	-0.17	0.10	0.77	0.60	0.55	0.50	0.41	0.33	0.61
	Ag	0.73	0.51	0.13	0.90	0.86	0.87	0.76	0.86	0.86

4.2. 龙昆南路绿化植物对重金属富集吸收

4.2.1. 龙昆南路乔木叶片重金属富集系数

如图 2 所示，三种乔木对九种重金属富集吸收显著不同。其中榕树对各类重金属的吸收能力比较强，富集系数平均值为 0.14，而糖胶树对各类重金属吸收能力比较弱，富集系数平均值为 0.11。三种乔木的重金属吸收能力大小排序为榕树(0.28) > 凤凰木(0.26) > 糖胶树(0.22)。

每个种类的乔木对各重金属吸收能力大有不同，榕树对各类重金属富集能力依次为 Mn > Ni > Cd > Ag > Cr > Co > Pb > Cu > Zn，糖胶树对各类重金属富集能力依次为 Mn > Ag > Ni > Cr > Pb > Cd > Co > Cu > Zn，凤凰木对各类重金属富集能力依次为 Ni > Ag > Mn > Cd > Pb > Co > Cr > Cu > Zn。3 种乔木都表现出对锰，镍较强的富集能力，尤其是榕树叶片中锰，镍的富集系数高达 0.45，凤凰木叶片中镍的富集系数叶达到 0.46。相似的是，三种乔木对锌，铜的富集能力极低，富集系数均 < 0.2。

4.2.2. 龙昆南路灌木叶片重金属富集系数

在 9 种重金属元素中，两种灌木对镍，锰的吸收能力较强，而对锌，铜的吸收能力较弱。金叶女贞对 9 种重金属吸收能力排序为镍 > 锰 > 铬 > 银 > 钴 > 镉 > 铅 > 铜 > 锌，其中对镍的富集系数高达 0.42，对锰的富集系数为 0.37，可见金叶女贞对镍，锰有较强吸收能力。叶子花对 9 种重金属吸收能

力排序为锰 > 镍 > 铬 > 银 > 铅 > 钴 > 镉 > 铜 > 锌, 对锰的富集系数达到 0.34, 对镍的富集系数达到 0.28, 说明叶子花同样对锰, 镍有较强富集能力。金叶女贞对锌的吸收能力比叶子花弱, 对其他 8 种重金属的吸收能力都比叶子花强, 特别是对镍的吸收能力, 详情见图 3。

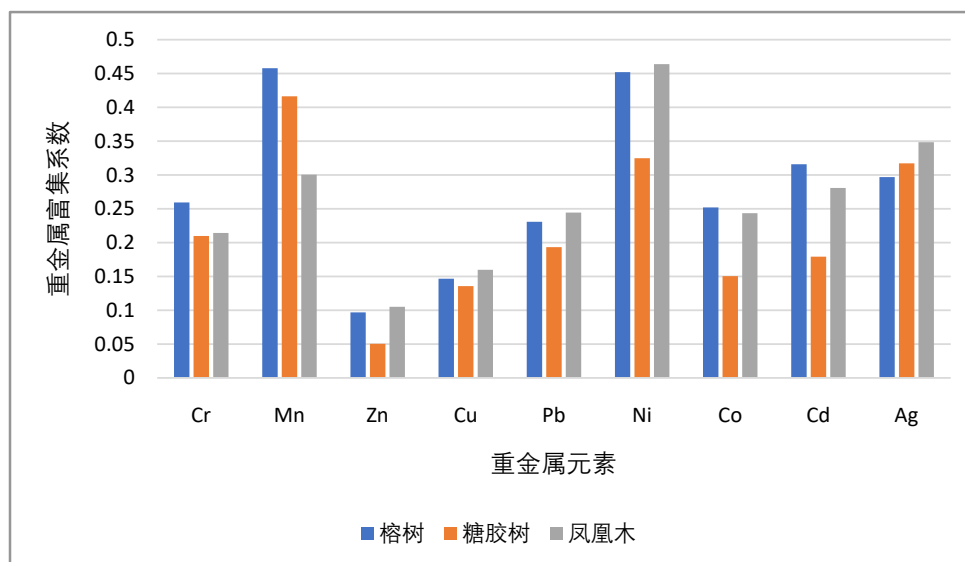


Figure 2. Heavy metal enrichment coefficient of Longkun South Road trees

图 2. 龙昆南路乔木重金属富集系数

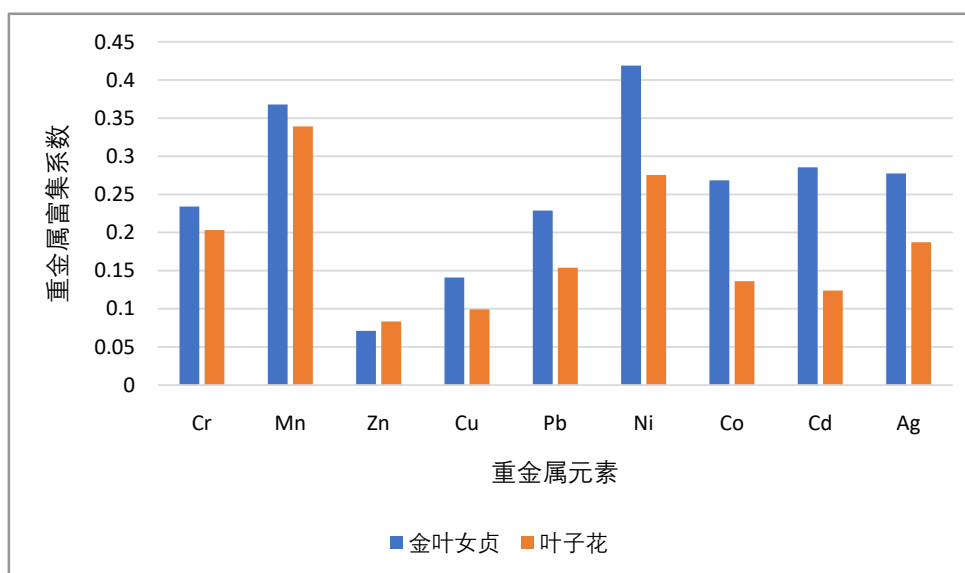


Figure 3. Heavy metal enrichment coefficient of Longkun South Road shrub

图 3. 龙昆南路灌木重金属富集系数

4.2.3. 龙昆南路草本植物重金属富集系数

地毯草对各种重金属富集能力差异较大, 对九种重金属吸收能力为银 > 铬 > 镍 > 铬 > 钴 > 锰 > 铜 > 锌 > 铅。各金属元素中, 地毯草对银的富集系数高达 0.69, 对银的富集能力最强; 地毯草对铅的富集系数仅为 0.09, 对铅富集能力最弱, 详情见图 4。

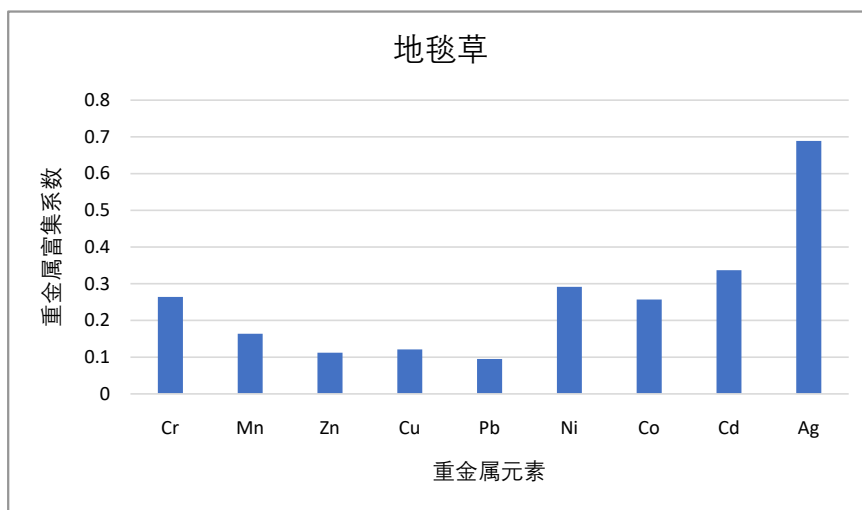


Figure 4. Heavy metal enrichment coefficient of Longkun South Road herbaceous plants
图 4. 龙昆南路草本植物重金属富集系数

4.3. 万绿园绿化植物对重金属富集吸收

4.3.1. 万绿园乔木叶片重金属富集系数

三种乔木对 9 种重金属吸收能力显著不同。其中凤凰木对各类重金属的吸收能力较高，富集系数均值为 0.21，而糖胶树对各类重金属吸收能力较弱，富集系数均值为 0.15。不同树种重金属吸收能力排序为凤凰木(0.21) > 榕树(0.20) > 糖胶树(0.15)。同一树种对不同重金属富集能力不同，榕树对各类重金属富集能力依次为 Ni > Mn > Ag > Cd > Cr > Co > Pb > Cu > Zn，糖胶树对各类重金属富集能力依次为 Mn > Ni > Cr > Ag > Pb > Co > Cu > Cd > Zn，凤凰木对各类重金属富集能力依次为 Ag > Ni > Co > Cd > Pb > Mn > Cr > Cu > Zn。3 种乔木都表现出对 Ag、Ni、Mn 较强的富集能力，尤其是凤凰木叶片中 Ag、Ni 的富集系数都达到 0.45，凤凰木叶片中 Ni 的富集系数叶达到 0.34 和 0.33。各树种对 Zn 的富集能力极低，富集系数均 < 0.1。详情见图 5。

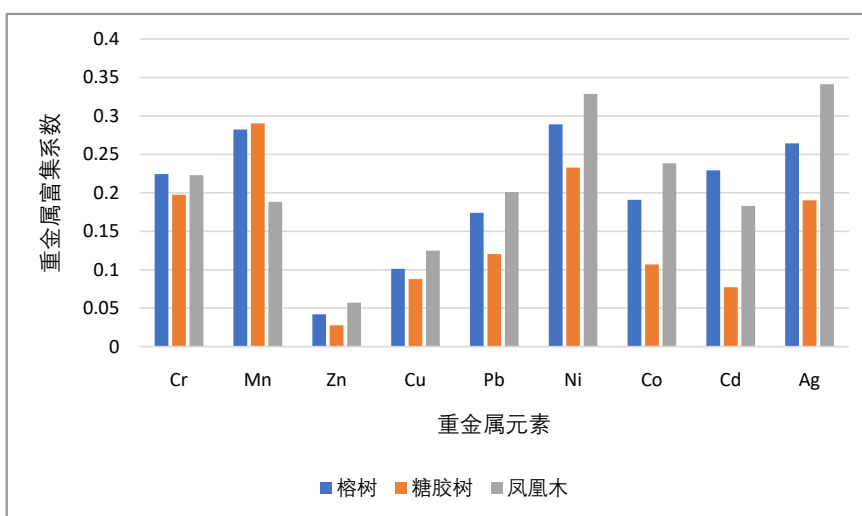


Figure 5. Heavy metal enrichment coefficient of trees in Wanlu Garden
图 5. 万绿园乔木重金属富集系数

4.3.2. 万绿园灌木叶片重金属富集系数

重金属系数是灌木叶片中重金属元素与土壤中相应元素之比，能够反应灌木对各重金属的富集吸收能力。各重金属元素中，灌木对镍，锰的吸收能力较强，而对锌，铜吸收能力较弱。金叶女贞对各类重金属富集能力依次为锰 > 镉 > 镍 > 银 > 铅 > 钴 > 铜 > 锌 > 铬，对镍的富集系数高达 0.33，对锰的富集系数为 0.28，可见金叶女贞对镍，锰有较强富集能力。叶子花对各类重金属富集能力为镍 > 锰 > 铬 > 镉 > 银 > 钴 > 铅 > 铜 > 锌，对锰的富集系数达到 0.22，说明叶子花同样对锰有较强富集能力。金叶女贞对锌的富集能力比叶子花弱，对其他元素的富集能力都比叶子花强，特别是对镍的富集能力。详情见图 6。

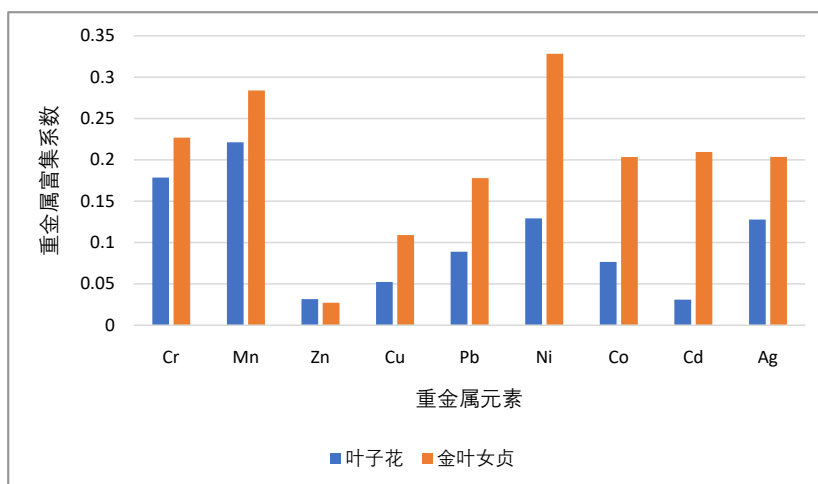


Figure 6. Heavy metal enrichment coefficient of shrub in Wanlu Garden
图 6. 万绿园灌木重金属富集系数

4.3.3. 万绿园草本植物重金属富集系数

地毯草对各种重金属富集能力差异较大，对各类重金属富集能力为 Ag > Cd > Ni > Cr > Co > Mn > Cu > Zn > Pb。各金属元素中，地毯草对银的富集系数高达 0.65，对银的吸收能力最强；地毯草对铅的富集系数仅为 0.08，对铅富集能力最弱。详情见图 7。

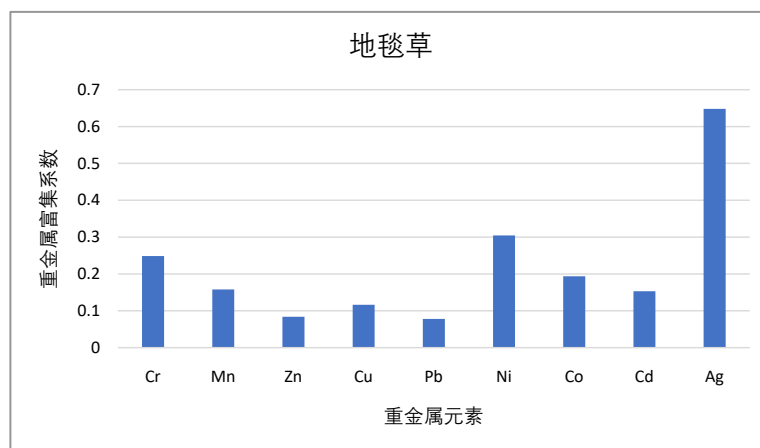


Figure 7. Heavy metal enrichment coefficient of herbaceous plants in Wanlu Garden
图 7. 万绿园草本植物重金属富集系数

5. 结论

5.1. 龙昆南路土壤重金属污染现状

经过实验分析,车流量密集龙昆南路行道树区域土壤并未受到较为严重的重金属污染,土壤质量良好。由此判断,龙昆南路车流量尚未达到污染绿化区土壤的地步,拥挤的交通可能是道路规划欠合理导致。

绿化区土壤中 Cr、Mn、Ni、Co、Zn 来自同一污染源,结合区域位置和采样时间,污染源可能为新增建筑施工和道路改造。Cd、Pb、Ag 来自另一污染源,根据 Pb 的特殊来源判断,污染可能主要来自汽车尾气。车流量更少的万绿园土壤中 Pb 含量明显小于龙昆路土壤也验证了这一点。Cu 与其他重金属呈明显的负相关,由此判断其来自于某种特殊污染源,但由于干扰因素过多,缺少关键数据,其具体污染源的判明尚待进一步商榷。

5.2. 同类型绿化植物吸收重金属的能力对比

在相同类型的植物中,金叶女贞,榕树吸收重金属的能力较强,应当优先选择为城市绿化植物,特别是增加地毯草在草本植物中的面积。而糖胶树,凤凰木和叶子花吸收重金属的能力较弱,应当多种植于公园和广场等污染较小的地区。在车流量密和集重金属污染严重的区域应适当减少其种植面积。此规律在万绿园和龙昆南路的表现一致。

5.3. 不同车流量区域行道树叶片中重金属含量规律

经过横向对龙昆南和万绿园土壤、乔木,灌木草本植物中重金属浓度和富集系数得出:在车流量大且绿化面积较小的区域行道树叶片重金属含量比车流量小且绿化面积大的区域行道树叶片重金属含量相对较高,植物富集重金属的能力更强。应适当增加车流量过大区域的绿植面积,防止单一区域重金属污染。

5.4. 乔木,灌木和草本植物富集土壤重金属能力的规律

草本植物的重金属富集系数相较于灌木,乔木的重金属富集系数大,从土壤吸收重金属的能力强,尤其是对银元素的吸收,其富集系数远高于乔,灌。灌木的重金属富集系数则高于乔木,从土壤中吸收重金属的能力比乔木强,但二者相差并不高。这些规律在不同车流量区域表现基本一致,车流量变化仅影响同种植物体内重金属含量,不同类型植物富集重金属能力排序依旧保持一致。

相比乔木和灌木,草本植物更容易受土壤重金属影响。监测区域土壤重金属污染时可以将草本植物的重金属含量作为重要参数。灌木和乔木更容易从土壤外的渠道富集重金属,比如空气。有条件情况下监测植物叶片重金属含量时应当同时测定样点周围空气重金属含量状况。

致 谢

感谢帮助过我的老师和身边的同学们。他们为我的实验提供了许多帮助,给我的论文提出了许多宝贵建议。没有他们,我无法顺利完成我的毕业论文。

参考文献

- [1] 王楨,张建强,渡边泉,等. 铁路和道路沿线土壤重金属含量及来源解析[J]. 生态环境学报, 2018, 27(2): 364-372.
- [2] 阳小成,赵桂丹,熊曼君,等. 川西北高原路侧土壤重金属分布特征及污染评价[J]. 应用与环境生物学报, 2018, 24(2): 239-244.

- [3] 黄顺生, 吴新民, 颜朝阳, 等. 南京城市土壤重金属含量及空间分布特征[J]. 城市环境与城市生态, 2007(2): 1-4.
- [4] 郭伟, 孙文惠, 赵仁鑫, 等. 呼和浩特市不同功能区土壤重金属污染特征及评价[J]. 环境科学, 2013, 34(4): 1561-1567.
- [5] 秦普丰, 刘丽, 侯红, 等. 工业城市不同功能区土壤和蔬菜中重金属污染及其健康风险评估[J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1668-1674.
- [6] 商侃侃, 车文玉, 张庆费. 上海城乡行道树悬铃木叶片重金属与营养元素含量特征[J]. 上海农业学报, 2016(1): 86-91.
- [7] 赵瑞瑞, 石福臣, 周美利, 陈国平, 丛明旸. 雪松和圆柏对城乡大气环境中重金属的积累特征[J]. 生态学杂志, 2015(12): 88-93.
- [8] Obaidy, A. and Mashhadi, A. (2013) Heavy Metal Contaminations in Urban Soil within Baghdad City, Iraq. *Journal of Environmental Protection*, **4**, 72-82. <https://doi.org/10.4236/jep.2013.41008>
- [9] Zhang, M., Yan, X., Zhang, F., et al. (2012) Heavy-Metal Distribution and Concentration of Roadside Soil in the Kathmandu Region, Nepal. *Journal of Computational & Theoretical Nanoscience*, **7**, 571-575. <https://doi.org/10.1166/asl.2012.2726>
- [10] 叶宏萌, 李国平, 袁旭音, 罗春霖, 刘养斌. 武夷山市区土壤重金属积累及5种阔叶树富集特征. 热带作物学报[J]. 2016(3): 39-42.
- [11] 白杨. 朝阳市区行道树重金属富集特征研究[J]. 陕西林业科技, 2016(2): 18-20.
- [12] 洪喜雄, 刘欢. 宜春市公园绿化树种组成分析[J]. 宜春学院学报, 2015(12): 101-105.
- [13] 邵鹏. 北京城市核心区国槐行道树健康评价研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [14] 王亚宇. 乌鲁木齐市土壤重金属空间分布及行道树对重金属的富集特征[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008.
- [15] 张力, 饶红红, 路小燕, 马培娟, 刘玲玲. 6种绿化带植物叶片中重金属含量的测定[J]. 甘肃高师学报, 2014(2): 3.
- [16] 唐丽清. 北京城区道路绿地不同绿化模式植物重金属富集效能研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.