

北京市房山区绿化树种 对 Cd(镉) 的吸收作用*

梁景森 尚 鹤 李柏忠 袁功英 刘 增

摘要 针对北京市房山区局部林地存在 Cd 污染问题,采用以木本植物为主体的林业工程措施治理 Cd 污染,实验证明是完全可行的。本实验对房山区试验示范林中 31 个树种对 Cd 的吸收及分布进行了比较,同时选择该区 10 个常见绿化树种,比较了在不同立地条件、不同污染环境对 Cd 的吸收、蓄积能力。根据这些树种对 Cd 的蓄积能力和累积效率大小,在房山区诸多绿化树种中,当选馒头柳、垂柳、臭椿、毛白杨、国槐等为治理 Cd 污染的量佳树种。

关键词 Cd 污染 林业工程 生物净化 蓄积能力 富集系数 累积效率

Cd 为极毒且较易被人体吸收的元素之一。Cd 的所有化学形态对人和动物都是有害的。如果没有工厂排放的废气污染,空气中 Cd 的浓度仅为 $0.001 \mu\text{g}/\text{m}^3$,在大城市上空也只有 $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[1],因此人和动物从空气对 Cd 的摄取量应该是微乎其微的。当今 Cd 作为一种重要的环境污染物,主要来源于水和土壤的污染。

由于食物链的传递,Cd 进入人体^[2]后往往不易排出,分布于身体各组织中,以肾皮层最多。随着 Cd 的积累,发生慢性 Cd 中毒,最常见的症状是贫血。这是由于 Cd 和 Fe、Cu 在新陈代谢中所具有的拮抗作用造成的。毒害严重者,其肾脏和消化系统受到损害,引发骨质疏松病和骨痛病,造成骨折。

1 试验林地基本情况

房山区试验示范林于 1994 年 3 月开始营造,占地 733 hm^2 ,是一项集防护、美化、试验于一体的多功能绿化工程。共栽植阔叶乔木 13 种,针叶树 9 种,果树 3 种,花卉灌木 15 种。示范林地西高东低,造林前土地未经平整,有一半为低洼湿地,呈轻度盐碱性。

1994 年 9 月,对房山区试验示范林区及其周边地区的土壤采样和分析,发现局部地区存在 Cd 污染(见表 1)。

1996 年 9 月在示范林西部,对元宝枫林地做了剖面分析,从结果看(见表 2),Cd 含量较 1994 年有所下降。说明木本植物对土壤中 Cd 污染物具有较高的生物吸收与蓄积能力。

示范林每年春季干旱期间抽灌用水来自附近的马刨泉河,其上游流经燕化公司所属的厂、矿,源自牛口峪水库,这是吸纳燕化污染的水库。土壤中的 Cd 污染,一般是由于污水灌溉,其

1997—08—13 收稿。

梁景森副研究员,尚鹤,李柏忠(中国林业科学研究院森林生态环境研究所 北京 100091);袁功英(北京市林业局);刘增(北京市房山区林业局)。

* 本文为中国林科院基金课题(1995~1996 年)“环境与林木、林土中微量元素的关系”以及北京市林业局资助项目(1994~1996 年)“房山区抗污染树种筛选及营造示范林研究”的部分内容。

表 1 土壤中 Cd 含量

(单位: mg/kg, 1994- 09)

取 样 地 点	深度(cm)	Cd 含量
示范林中部	50	25.8
示范林中部	70	8.7
示范林沙壤	70 以下	4.9
示范林毛白杨林地	60	5.4
安装公司加杨林地	60	9.3
动力厂路边柏、杨林地	60	4.6
动力厂路边椿、桧林地	60	7.3
北庄路口	60	7.5
北庄路口水沟	60	7.8
化二院内	60	10.5
化三厂内	60	8.2
盆栽草炭土		7.9

表 2 元宝枫示范林林地土壤剖面 Cd 含量

(单位: mg/kg, 1996- 09)

土层深度(cm)	Cd 含量
10	2.49
20	2.76
30	2.59
40	2.59
50	3.64
60	2.94
70	2.41
80	3.47
90	3.11
100	3.10

中含 Cd 物质不断累积,超过土壤自净能力后造成的。通常治理土壤污染的办法是节制污染源,加强土壤的生物净化能力。

木本植物对土壤 Cd 的吸收、蓄积能力存在明显的种间差异^[3]。本实验对房山区试验示范林中 34 个树种对 Cd 的吸收及分布进行了比较,同时选择 10 个房山常见绿化树种在不同立地条件、不同污染环境下对 Cd 吸收、蓄积能力进行了比较,目的是选出吸 Cd 最佳树种,充分发挥林业工程治 Cd 作用。

2 实验方法

盆栽苗多是选用苗圃中 2 年生的树苗。示范林中是 1994 年春季人工栽种的 3 年生以上的树木。盆栽苗木试验区选址在房山区林业局附近,该地区 SO₂、氮氧化物、CO 均不超标, O₃ 有低度超标。一部分盆栽苗木放置在燕化区厂区附近,该地区大气污染类型属石油型。在整个试验区范围内未发现大气污染对植物造成的明显的伤害症状。

试验区配备 4 个开顶式熏气罐,每个罐呈圆柱形,直径 3 m,高 3.6 m。罐周围用透光性能好的聚氯乙稀薄膜蒙蔽,罐顶开口。罐底敷设出气环管,由风机向环管鼓风。其中有两台风机装有活性炭过滤装置,空气中的污染成分在进入熏气罐前将被足够厚的活性炭层吸附。另两台输入自然风换气。鼓风机流量保证每分钟整个罐体换气一次。

花盆用土按苗圃土与草炭肥 1 : 1 掺合而成,每盆栽种 1 株苗木。4 个熏气罐按同一方式每个罐摆放 90 盆苗木。每个树种选取 6 ~ 10 盆(针叶树种多选,速生阔叶树种考虑到遮光效应,少选),均匀摆放在罐内。为了与罐中盆栽苗木进行对照,罐外场地上同时摆放相同树种的盆栽苗木。

试验场地上所有盆栽苗木全部浇灌饮用自来水。在苗木生长季节日照时间内鼓风机几乎不中断地工作。上述实验即所谓“减法熏气实验”。如果在上述实验装置基础上再安装配气装置,定时定量向罐中输入各种气体,这就是所谓的“加法熏气实验”。

1994 年 6、9 月两次对 10 个盆栽树种及示范林中相应的树种采集了树种样品以及林地土壤样品。树叶样品经自然干燥后,采用干法制样,土壤样品采用氢氟酸硝化法制样,然后用原子

吸收方法分析 Cd 含量。1996 年 9 月对示范林内几乎所有树种, 每个树种进行多株的根、茎、叶样品采集, 采用相同的分析方法进行 Cd 含量测定。所有样品的分析测定都是由中国林科院森林生态环境实验室在 PE703 原子吸收分光光度计上完成的。

3 结果分析

由表 3 得出如下结论:

(1) 盆栽苗木叶中 Cd 含量由小到大排列顺序为: 油松, 侧柏, 小叶白腊, 桧柏, 紫穗槐, 臭椿, 国槐, 刺槐, 毛白杨, 馒头柳。如果将树叶中 Cd 的含量做为该树种对 Cd 的蓄积能力的指标, 那么这 10 个树种对 Cd 的蓄积能力的排列顺序在示范林中得到验证。只是因立地条件有些差异, 排列顺序稍有变化。树木对土壤元素的吸收、蓄积能力可以用富集系数来表示, 树木植

表 3 10 个树种在不同时期、不同条件下树叶中的 Cd 含量 (单位: mg/kg)

树 种	1994- 06		1994- 09				1996- 09			
	盆栽	示范林	罐内净化盆栽	罐内非净化盆栽	罐外盆栽	污染区盆栽	示范林	罐内净化盆栽	罐内非净化盆栽	示范林
油 松	0.30	0.19	0.36	0.29	0.32	0.99	0.22	0.413	0.444	0.489
桧 柏	0.46	0.32	0.65	0.50	0.50	1.07	0.46	0.818	0.638	0.949
侧 柏	0.46	0.53	0.64	0.42	0.47	1.14	0.49	0.806	0.536	0.794
国 槐	0.79	0.77	1.11	0.91	0.89	1.30	1.27	1.51	1.29	1.89
刺 槐	1.19	0.79	1.42	1.03	0.96	1.62	1.17	1.48	1.43	1.34
紫穗槐	1.67	-	0.75	0.66	0.44	0.65	-	0.820	0.740	0.755
毛白杨	0.96	0.82	1.40	1.56	0.94	1.42	1.50	1.55	1.54	2.07
馒头柳	2.04	1.92	1.50	2.18	2.36	2.14	2.02	1.74	1.60	2.38
小叶白腊	0.26	0.41	0.50	0.43	0.85	0.78	0.71	0.60	0.595	1.05
臭 椿	0.74	0.77	1.06	0.99	1.31	0.74	1.15	1.16	1.16	1.47

注: 上述结果都是 3 个以上样品测试数据的算术平均值。下表同。

株内某元素的含量与该元素在土壤中含量的比值即这种树木对这种元素的富集系数^[4]。根据 1996 年 9 月对房山区 10 个盆栽树种在自然条件下 Cd 在叶中含量的测试结果(见表 3, 1996 年 9 月“罐内非净化盆栽”), 考虑到盆栽草炭土 Cd 含量为 7.9 mg/kg, 可计算出这 10 个树种的叶面对草炭土中 Cd 的富集系数(见表 4)。

表 4 10 个树种在自然条件下树叶对草炭土中 Cd 的富集系数

树 种	富集系数
油 松	0.056
桧 柏	0.081
侧 柏	0.068
国 槐	0.163
刺 槐	0.181
紫穗槐	0.094
毛白杨	0.195
馒头柳	0.203
小叶白腊	0.075
臭 椿	0.147

(2) 各树种叶中 Cd 含量普遍随树龄增长而增加, 由小到大依次为 1994 年 6 月, 1994 年 9 月, 1996 年 9 月。说明蓄积能力随树木的生长而逐渐加强。

(3) 盆栽苗木中, 叶中 Cd 含量除了随树龄增长而增加外, 以在污染区最高。说明树木对 Cd 的吸收除了与立地条件有关外, 还与大气环境有关, 这种作用机理有待进一步研究。

由表 5 得出如下结论:

(1) 植株中的 Cd 主要是依靠根部从土壤中吸收得来。Cd 的分布从须根、侧根、主根到茎呈逐渐衰减趋势, 最终在叶中累积。在叶中的含量可代表树种的蓄积能力。

(2) 如果用 Cd 在叶部的含量和须根中的含量之比作为该树种对 Cd 的累积效率的话, 可看出阔叶树种对 Cd 的累积效率比针叶树种高; 在阔叶树种中, 阔叶乔木对 Cd 的累积效率又比阔叶灌木高。

(2) 如果对 Cd 污染地区的树叶能够采取有效的措施, 使它排除在食物链之外, 这样利用林业生态工程是可以达到净化土壤中 Cd 污染物的目的。按蓄积能力积累效率排列, 林业生态工程最佳树种选择是: 馒头柳、垂柳、臭椿、毛白杨、国槐、刺槐、银杏、火炬树、黄栌、柿树、紫叶李、榆叶梅、月季、紫穗槐、木槿。

表 5 Cd 在示范林各树种植株各器官内分布的情况

(单位: mg/kg)

树 种	叶	茎	主根	侧根	须根	累积效率 (%)
桧柏(<i>Juniperus formosana</i> Hayata)	0.949	0.368	0.551	0.588	0.956	99
油松(<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.)	0.489	0.184	0.268	0.394	0.441	111
侧柏(<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco)	0.794	0.519	0.625	0.811	1.19	67
樟子松(<i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> Litvin.)	0.300	0.061	0.061	0.210	0.316	95
银杏(<i>Ginkgo biloba</i> L.)	1.22	0.370	0.380	0.422	0.675	181
小叶白腊(<i>Fraxinus bungeana</i> DC.)	1.05	0.257	0.294	0.394	0.625	168
国槐(<i>Sophora japonica</i> L.)	1.89	0.221	0.294	0.368	0.552	342
刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	1.34	0.331	0.335	0.374	0.463	289
臭椿(<i>Ailanthus altissima</i> (Mill) Swingle)	1.47	0.165	0.139	0.179	0.286	514
馒头柳(<i>Salix matsudana</i> Koidj.)	2.38	0.305	0.313	0.398	0.875	272
毛白杨(<i>Populus tomentosa</i> Carr.)	2.07	0.733	0.759	1.01	1.35	153
垂柳(<i>Salix babylonica</i> L.)	2.21	0.280	0.369	0.413	0.617	358
元宝枫(<i>Acer truncatum</i> Bunge)	1.06	0.363	0.368	0.515	0.844	126
火炬树(<i>Rhus typhina</i> L.)	1.15	0.259	0.299	0.649	0.750	153
黄栌(<i>Cotinus coggygia</i> Scop.)	1.06	0.170	0.212	0.340	0.510	208
栾树(<i>Koeleruteria paniculata</i> Laxm.)	1.02	0.152	0.244	0.374	0.579	176
构树(<i>Broussonetia papyrifera</i> (L.) Vent.)	1.42	0.214	0.214	0.296	0.364	390
柿树(<i>Diospyros kaki</i> L. f.)	1.13	0.287	0.287	0.350	0.541	209
山楂(<i>Crataegus pinnatifida</i> Bunge)	1.38	0.235	0.255	0.457	0.762	181
紫薇(<i>Lagerstroemia subcostata</i> Koehne)	0.975	0.414	0.350	0.419	0.510	191
紫叶李(<i>Prunus cerasifera</i> var. <i>atropurpurea</i> Jacq.)	1.60	0.255	0.287	0.283	0.382	419
紫穗槐(<i>Amorpha fruticosa</i> L.)	0.755	0.099	0.214	0.244	0.333	227
榆叶梅(<i>Prunus triloba</i> Lindl.)	1.48	0.295	0.464	0.411	0.506	292
月季(<i>Rosa chinensis</i> Jacq.)	1.20	0.123	0.132	0.300	0.534	225
珍珠梅(<i>Sorbaria kirilowii</i> (Regel) Maxim.)	0.911	0.304	0.391	0.447	0.551	165
紫荆(<i>Cercis chinensis</i> Bunge)	0.948	0.269	0.262	0.454	0.737	129
连翘(<i>Forstythia suspensa</i> (Thunb.) Vahl)	0.837	0.255	0.212	0.276	0.455	184
丁香(<i>Syringa pekinensis</i> Rupr.)	0.718	0.441	0.446	0.382	0.619	116
金银木(<i>Adinandra hainanensis</i> Hay.)	1.17	0.213	0.252	0.396	0.701	167
木槿(<i>Hibiscus syriacus</i> L.)	1.59	0.487	0.640	0.731	0.952	167
红叶小檗(<i>Berberis thunbergii</i> DC.)	0.853	0.305	0.317	0.476	0.463	184

参 考 文 献

- 1 郭笃发. 环境中铅和镉的来源及其对人和动物的危害. 环境科学进展, 1994, 2(3): 71 ~ 76.
- 2 杨林书, 吴姝姝, 王宏康. 作物幼苗 Cd 含量标征土壤 Cd 污染的研究. 环境科学, 1995, 16(3): 61 ~ 63.
- 3 蒋德明, 黄会一, 张春兴, 等. 木本植物对土壤镉污染物吸收蓄积能力及其种间差异. 城市环境与城市生态, 1992, 5(1): 26 ~ 30.
- 4 郑文教, 郑逢中, 连玉武, 等. 九龙江口秋茄红树林镉铬镍元素的累积及动态. 环境科学学报, 1996, 16(2): 232 ~ 237.

Cd-absorption of Wood Species in Beijing Fangshan District

Liang Jingsen Shang He Li Baizhong Yuan Gongying Liu Zeng

Abstract It was proved that it is feasible to harness Cd-pollution with the means of forest project composed mainly of woody plants. To solve the problem of Cd-pollution in some areas of Fangshan District in Beijing, Cd-absorption and Cd-contribution of 31 woody species selected in the experimental forest are compared. Cd-absorption and Cd-accumulation of 10 woody species selected from different locations in Fangshan District are as well compared. According to the storage capacity and the accumulative efficiency of Cd, *Salix babylonica*, *Salix matsudana*, *Ailanthus altissima*, *Sophora japonica* etc. are the best ones for harnessing the Cd-pollution among the woody species in Fangshan District.

Key words Cd-pollution forest project biological purification storage capacity
collecting coefficient accumulative efficiency

Liang Jingsen, Associate Professor, Shang He, Li Baizhong (The Institute of Forest Ecology and Environmental Science, CAF Beijing 100091); Yuan Gongying (Beijing Forestry Bureau); Liu Zeng (Fangshan District Forestry Bureau of Beijing City).