

石楠和大叶黄杨对污泥基质中重金属的吸收与富集特征

史红文¹, 杨兰芳², 丁昭全¹, 涂继红¹

(1. 武汉市园林科学研究所, 湖北 武汉 430081; 2. 湖北大学 资源环境学院, 湖北 武汉 430062)

摘要:运用不同配比的污泥基质进行盆栽试验,通过测定污泥、石楠和大叶黄杨不同部位的6种重金属含量,研究了石楠和大叶黄杨的重金属含量和富集特征。结果表明:随着栽培基质中污泥组成的变化,石楠和大叶黄杨中重金属含量与富集系数均没有呈现出有规律变化。2种植物根、茎、叶的重金属含量中均以Zn最高,根以Cd最低,茎和叶都以As最低。大叶黄杨根中6种重金属和叶片中Zn含量均显著高于石楠。在石楠中,As的含量根>茎>叶;Cd和Pb呈根显著低于茎与叶;根中Cu和Cr显著高于茎与叶;茎部Zn含量显著低于根与叶。在大叶黄杨中,As和Cu的含量均呈根>茎>叶;Cd在根、茎、叶之间无规律性,根中Cr含量高于茎与叶;茎部Pb含量高于根与叶;叶片中Zn含量低于根与茎。2种植物根、茎、叶对Cr与As富集能力均很低,而根对Cu、茎和叶对Pb富集能力很强。大叶黄杨根对6种重金属、茎对Zn与Pb的富集能力均显著高于石楠。2种植物对Cr和As的富集能力弱,而对Pb和Cd的富集能力强;大叶黄杨富集重金属能力高于石楠。

关键词:污泥;重金属;石楠;大叶黄杨;吸收;富集能力

中图分类号:S 792.115 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2010)03-0070-05

污泥是污水生物处理过程中产生的副产物,是由多种微生物形成的菌胶团与其吸附的有机物和无机物组成的集合体^[1]。污水处理过程中会产生大量的污泥,我国有污水处理厂600多座,年产污泥2000万t左右^[2]。当前生活污水的处置方式主要是填埋、焚烧、农用和排海等^[3]。填埋需要占用大量土地并污染环境,焚烧需要特殊设备,同时也会造成污染,排海也会污染海洋环境。由于污泥中含有大量有机质和丰富的植物营养元素,污泥农用是污泥资源化的一种措施^[4]。但是污泥也含有如重金属和多环芳烃之类对生物有毒性的各种无机有机污染物^[5-6],因此污泥农用要慎重。随着城市的飞速发展,园林绿化也得到快速发展,园林绿化中需要大量的栽培基质,这为生活污水的资源化利用提供了机会。污泥应用于园林绿化中既可以为园林植物提供大量营养元素,促进园林植物生长,改善土壤性质,提高园林土壤肥力^[7],降低成本,也可以避免污泥农用中的污染物质进入食物链的风险。因此污泥在林业和园林绿化中运用是污泥资源化利用的重要方向。

为了使污泥在林业和园林绿化中得到合理利用,污泥中的污染物在园林植物中的转化以及园林植物对污

泥中污染物特别是重金属的富集特征方面的研究应该受到重视。现通过利用不同比例污泥配制的基质进行石楠和大叶黄杨的盆栽试验,研究了污泥重金属在园林植物中的分布以及园林植物对污泥重金属的富集特点,最终为污泥在园林绿化中的合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 污泥

试验所用污泥采自武汉市沙湖污水处理厂,污泥pH值为6.0,干污泥总氮、总磷、总钾和有机碳含量分别为5.10%、3.39%、4.44%和28.56%。

1.2 供试植物

为1a生长势健壮、整齐的大叶黄杨(*Euonymus japonicus*)和石楠(*Photinia serrulata*)。

1.3 试验设计

试验采用盆栽的方式进行,盆栽基质为污泥、园土和珍珠岩,设置4种比例污泥基质(见表1),每种基质均栽种石楠和大叶黄杨2种植物,共8个处理,每种处理各栽植植物8盆。所用钵为10L的塑料钵,每钵装配制的栽培基质8kg,植物生长期通过人为控制水分使每盆水分尽量一致,保持基质含水量在30%左右。

1.4 化学分析

在每个试验处理的供试植物中选取3株,分别检测其根、茎和叶片的砷(As)、镉(Cd)、铬(Cr)、铜(Cu)、铅(Pb)和锌(Zn)的含量;同时测定污泥重金属含量。砷用分光光度法,铬用二苯碳酰二肼分光光度法,铜、铅、锌、

第一作者简介:史红文(1975-),男,硕士,工程师,现主要从事园林生态学研究。E-mail:shw1975@126.com

基金项目:武汉市园林局科研资助项目(武园[2006]49)。

收稿日期:2009-10-09

表 1 污泥基质的构成

基质类型	基质构成(按重量)		
	污泥	园土	珍珠岩
A	3	6	1
B	4	5	1
C	5	4	1
D	6	3	1

钢用火焰原子吸收法^[8]。

1.5 数据处理

植物对重金属的富集能力用富集系数(EC)来表示,计算方法为用供试植物地上部分(茎、叶)中的重金属含量除以污泥中重金属含量: $\{EC=\frac{C_p}{C_s} \times 100\}$, C_p 为植物组织中某重金属的含量, C_s 为污泥中重金属的含量。

不同植物和同种植物不同部位重金属含量的差异用 Excel 中配对样本的 t 检验进行,显著水平取 0.05;植物各部位对不同元素的富集系数差异用 SPSS10.0 中的 One-Way ANOVA 进行,显著水平取 0.05。

2 结果与分析

2.1 所用污泥的重金属含量

由表 2 可知,试验所用污泥中的 6 种重金属含量以 Zn 最高,Cd 最低, $Zn>Cr>Pb>As>Cu>Cd$ 。同中华人民共和国国家标准-农用污泥中污染物控制标准(GB4284-84)对照,Cd 略高于在酸性土壤中施用的最高限量,但低于碱性土壤中的施用限量,As 含量高于污泥农用标准的最高限量,其余 Zn、Cr、Pb、Cu 均远低于污泥农用的最高限量标准。

表 2 所用污泥的重金属含量

重金属类型	供试污泥含量	污泥农用最高容许量/ $mg \cdot kg^{-1}$	
	/ $mg \cdot kg^{-1}$	土壤 pH<6.5	土壤 pH>6.5
As (砷)	41.6	5	20
Cd (镉)	7.8	5	15
Cr (铬)	156.5	300	1 000
Cu (铜)	38.9	250	500
Pb (铅)	60.16	600	1 000
Zn (锌)	187.6	500	1 000

2.2 植物中的重金属含量

2.2.1 不同基质下植物根系中的重金属含量 表 3 表明,4 种基质处理中,随着基质中污泥比例的增加,石楠和大叶黄杨根系中重金属含量并没有随污泥比例增加而呈现出明显的规律性。从不同重金属来看,无论是石楠还是大叶黄杨,Zn 含量最高,Cd 的含量最低,其余 4 种元素在根系中含量互有高低,呈 $Zn>Cu、Pb>As、Cr>Cd$ 的规律。石楠和大叶黄杨对重金属的吸收具有一定差异。通过配对 t 检验表明,大叶黄杨根系中 As、Cd、Cr 和 Pb 的含量显著高于石楠($P<0.05$),而 Cu 和 Zn 的含量极显著高于石楠($P<0.01$)。

2.2.2 不同基质下植物茎中重金属含量 由表 3 可见,随着栽培基质中污泥比例增加,石楠和大叶黄杨茎中重

金属含量有增有减,没有随栽培基质中污泥比例增加而出现明显的变化规律。6 种重金属含量,无论是石楠还是大叶黄杨均是 Zn 含量最高,Cr 的含量最低,呈 $Zn>Pb>Cu>As、Cd>Cr$ 的规律。配对样本 t 检验表明,在植物茎的重金属含量中,只有 Zn 的含量在大叶黄杨中显著高于石楠($P<0.05$),而其余 5 种重金属含量在石楠和大叶黄杨之间无显著差异($P>0.05$)。

表 3 重金属在植物根系中的含量

植物	基质	重金属含量/ $mg \cdot kg^{-1}$					
		As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
石楠	A	1.84	0.77	1.87	9.44	4.26	20.19
	B	2.14	1.14	1.84	8.49	7.51	21.87
	C	2.11	1.59	3.66	7.32	3.26	26.91
	D	1.54	1.59	1.66	5.72	10.39	23.32
大叶黄杨	A	2.30	2.48	3.78	15.83	13.27	31.41
	B	4.12	2.63	8.02	21.44	23.25	45.76
	C	8.08	2.18	5.08	15.03	18.96	37.61
	D	5.80	1.88	5.34	17.48	16.11	45.18

表 4 重金属在植物茎中的含量

植物	基质	重金属含量/ $mg \cdot kg^{-1}$					
		As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
石楠	A	1.22	1.42	0.57	6.60	15.98	18.19
	B	1.72	1.43	0.51	4.58	13.24	18.89
	C	0.80	1.88	0.76	3.97	7.51	18.97
	D	0.56	1.73	0.51	2.13	16.13	19.74
大叶黄杨	A	1.14	2.63	0.46	8.55	13.25	27.07
	B	1.78	2.33	1.12	10.01	30.50	41.68
	C	2.94	1.28	1.68	4.40	24.62	56.10
	D	1.99	1.29	0.96	10.39	21.88	52.55

2.2.3 不同基质下植物叶片中重金属含量 表 5 可知,无论石楠还是大叶黄杨,其叶片中的重金属含量随着基质中污泥比例增加而有增有减,没有随污泥比例增加呈现出有规律变化。从叶片中不同重金属含量来看,无论是石楠还是大叶黄杨均是 Zn 最高,As 最低,呈 $Zn>Pb>Cu>Cd>Cr>As$ 的规律。配对样本 t 检验表明,石楠与大叶黄杨叶片中 6 种重金属含量之间无显著差异($P>0.05$)。

表 5 重金属在植物叶片中的含量

植物	基质	重金属含量/ $mg \cdot kg^{-1}$					
		As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
石楠	A	0.28	0.99	0.86	5.17	13.23	20.95
	B	0.36	1.43	1.37	5.39	13.21	27.11
	C	0.22	2.18	0.86	3.15	16.13	26.83
	D	0.26	1.74	0.31	3.12	16.14	23.50
大叶黄杨	A	0.11	2.03	0.89	3.24	16.13	19.25
	B	0.10	2.03	1.00	3.28	18.99	20.81
	C	1.86	1.74	0.86	3.53	16.14	24.16
	D	1.60	2.03	0.85	3.30	16.14	26.79

2.3 植物重金属的分布特征

在石楠中,As 含量呈根>茎>叶的分布规律,不同部位之间差异显著($P<0.05$);Cd 的含量是根最低,显著

低于茎和叶($P<0.05$),但茎与叶之间差异不显著;Cu 和 Cr 的含量均是根最高,显著高于茎和叶($P<0.05$),而茎与叶之间差异不显著;Pb 的含量为根最低,显著低于茎和叶($P<0.05$),而茎与叶之间差异不显著;Zn 的含量是茎最低,显著低于根和叶($P<0.05$),而根与叶之间差异不显著。

大叶黄杨中的 As 含量与石楠相同,呈根>茎>叶的分布规律,不同部位之间差异显著($P<0.05$);Cd 的含量在根、茎、叶之间无规律性,在基质 A 和基质 B 中是叶片最低,而在基质 C 与 D 中则是茎最低;Cr 的含量根系中最高,显著高于茎和叶($P<0.05$),而茎与叶之间差异不显著;Cu 的含量呈根>茎>叶的分布规律,且不同部位之间差异显著($P<0.05$);Pb 的含量是茎最高,显著高于茎与叶($P<0.05$),而根与叶之间差异不显著;Zn 的含量是叶片最低,显著低于根与茎($P<0.05$),而根与茎之间差异不显著。

2.4 植物对污泥重金属的富集能力

用植物组织中某重金属元素的含量与污泥中该元素的比例作为植物组织对该元素的富集系数(用%表示)。表 6 表明,石楠不同部位对重金属的富集系数在 0.2%~28%之间,对 As、Cd、Cr、Cu、Pb 和 Zn 的富集系数范围分别为 0.5%~5.1%、9%~28%、0.2%~2.4%、5%~25%、5%~27%和 9%~15%。大叶黄杨不同部位对重金属的富集系数在 0.2%~56%之间,对 As、Cd、Cr、Cu、Pb 和 Zn 富集系数范围分别为 0.2%~19.5%、16%~34%、0.2%~5.2%、8%~56%、22%~51%和 10%~30%。随着基质的变化,石楠和大叶黄杨根、茎、叶对 6 种重金属元素的富集系数均没有出现有规律的变化。

石楠对 As 的富集系数呈根>茎>叶的规律性变化;对 Cd 的富集系数则是根最小,茎与叶差异不大($P>0.05$);对 Cr 的富集系数根最大;对 Cu 的富集系数叶最大;对铅的富集系数呈根<茎<叶的规律性变化;对 Zn 的富集系数是茎最小。在大叶黄杨中,对 As 富集系数也呈根>茎>叶的有规律变化;对 Cd 和 Cr 富集系数均是根最大,茎与叶相差不明显($P>0.05$),对 Cu 富集系数呈根>茎>叶变化;Pb 则是茎最高,根与叶差异不大($P>0.05$);对 Zn 的富集系数也是叶最小,根与茎差异不大($P>0.05$)。

配对 t 检验表明,2 种植物根的富集系数中,大叶黄杨对 As、Cd、Cr、Cu、Pb 和 Zn 等 6 种重金属的富集系数均显著高于石楠($P<0.05$);茎的富集系数中大叶黄杨高于石楠,但是只有 Pb 和 Zn 的差异才是显著的($P<0.05$);大叶黄杨叶片的富集系数高于石楠,但是 6 种元素的差异均不显著($P>0.05$)。

表 6 植物重金属富集系数

植物	基质	部位	重金属富集系数/%					
			As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
石楠	A	根	4.42	9.87	1.19	24.27	7.05	10.76
		茎	2.93	18.21	0.36	16.97	26.56	9.70
		叶	0.67	12.69	0.55	13.29	21.99	11.17
	B	根	5.14	14.62	1.18	21.83	12.48	11.66
		茎	4.13	18.33	0.33	11.77	22.01	10.07
		叶	0.87	18.33	0.88	13.86	21.96	14.45
	C	根	5.07	20.38	2.34	18.82	5.42	14.34
		茎	1.92	24.10	0.49	10.21	12.48	10.11
		叶	0.53	27.95	0.55	8.10	26.81	14.30
	D	根	3.70	20.38	1.06	14.65	17.27	12.43
		茎	1.35	22.18	0.33	5.48	26.81	10.52
		叶	0.63	22.31	0.20	8.02	26.83	12.53
大叶黄杨	A	根	5.53	31.79	2.42	40.69	22.06	16.74
		茎	2.74	33.72	0.29	21.98	38.65	14.43
		叶	0.26	26.03	0.57	8.33	26.81	10.26
	B	根	9.90	33.72	5.12	55.12	22.02	24.39
		茎	4.28	29.87	0.72	25.73	50.70	22.22
		叶	0.24	26.03	0.64	8.43	31.57	11.09
	C	根	19.42	27.95	3.25	38.64	33.01	20.05
		茎	7.07	16.41	1.07	11.31	40.92	29.90
		叶	4.47	22.31	0.55	9.07	26.83	12.88
	D	根	13.94	24.10	3.41	44.94	26.78	24.08
		茎	4.78	16.54	0.61	26.71	36.37	28.01
		叶	3.85	26.03	0.54	8.48	26.83	14.28

石楠根系对不同元素的富集系数以 Cr 最低、Cu 最高,呈 $Cr<As<Pb<Zn<Cd<Cu$ 规律性变化,统计分析表明,Cr 与 As、Pb 与 Zn、Zn 与 Cd 以及 Cd 与 Cu 之间差异不显著($P>0.05$)。石楠茎对 Cr 的富集系数最低、Pb 最高,呈 $Cr<As<Zn<Cd<Cu<Pb$ 规律性变化,统计分析表明,Cr 与 As、Zn 与 Cd 以及 Cu 与 Pb 之间差异不显著($P>0.05$)。石楠叶片对 Cr 的富集系数最低、Pb 最高,呈 $Cr<As<Cu<Zn<Cd<Pb$ 规律性变化,统计分析表明:Cr 与 As、Cu 与 Zn、以及 Cd 与 Pb 之间差异不显著($P>0.05$)。大叶黄杨根系对 Cr 的富集系数最低、Cu 最高,呈 $Cr<As<Zn<Pb<Cd<Cu$ 规律性变化,统计分析表明:Zn 与 Pb、Pb 与 Cd 之间差异不显著($P>0.05$);大叶黄杨茎对 Cr 的富集系数最低、Pb 最高,呈 $Cr<As<Cu<Zn<Cd<Pb$ 规律变化,统计分析表明:Cr 与 As、Cu 与 Zn 以及 Zn 与 Cd 之间差异不显著($P>0.05$)。大叶黄杨叶对 Cr 的富集系数是最低、Pb 最高,呈 $Cr<As<Cu<Zn<Cd<Pb$,统计分析表明:只有 Cr 与 As 之间差异不显著($P>0.05$)。

3 讨论

试验所用污泥除 Cd 略微超标和 As 超标外,Cr、Cu、Pb、Zn 均远低于国家污泥农用最高限量标准,同 Chen 等^[9]报道的长沙、湘潭、株洲 5 个污水处理厂的污泥相比,Cd 和 Pb 与其中的 2 个相近,而低于另外 3 个,Cu 和 Zn 比他们的 5 个都低,同赵秀兰等^[10]报道的重庆市污泥相比,武汉沙湖污水处理厂污泥的 Cu 和 Zn 含量

比其低,Pb 与其接近,而 Cd 偏高。试验污泥中的 6 种重金属含量均在陈同斌^[11]报道的中国城市污泥重金属含量范围内,因此武汉沙湖污水处理厂污泥属于重金属含量较低、超标元素少的污泥,主要是因为该污水处理厂以处理生活污水为主,工业污水很少,因而其重金属含量并不高,这对该污泥的资源利用有利。但由于其 Cd 略微标准和 As 超标,而 Cd 与 As 是对生物毒性较大的元素,所以武汉沙湖污水处理厂污泥的农用应该慎重,而应用在林业和园林绿化中应是沙湖污泥资源利用的主要方向。

研究中无论是植物中的重金属含量还是植物对重金属的富集系数,都没有随基质中污泥比例的增加而呈现有规律变化。而小区田间试验结果也表明,土豆块茎中的重金属含量也没有随污泥用量的增加呈现有规律变化^[12],利用污泥有机肥进行大田试验种植马铃薯的试验结果也与此相似^[13],说明植物对污泥中重金属的吸收和富集是受很多因素影响的复杂过程,污泥用量不是唯一因素。植物生长虽然受环境影响,但同时也会改变环境,植物生长对环境的改变必然影响环境中的元素在植物与环境之间转化与分配,如小麦根系分泌物能促进土壤对重金属 Pb 和 Cd 的吸附^[14],有机酸可以促进小麦根系对 Pb 的吸收^[15];杨仁斌等^[16]研究发现有机酸和氨基酸对土壤中重金属 Pb、Zn、Cd 和 Cu 具有较强的活化效应,其中柠檬酸、酒石酸和草酸的活化能力最强。

无论是供试植物中 As 的含量还是对 As 的富集系数都很低,说明所用 2 种植物石楠和大叶黄杨对 As 的吸收和富集能力弱。植物对 As 的富集除了受介质 As 含量和环境条件影响外,植物类型也是主要因素。如对中国南方广泛分布的蜈蚣草调查分析表明,蜈蚣草地上部 As 含量范围为 48.5~1104 mg/kg^[17];对蔬菜和粮油作物中 As 的累积特点和富集能力进行总结和分析表明,蔬菜类植物 As 含量为叶菜类>根茎类>茄果类>鲜豆类,粮食植物为水稻高于小麦和玉米^[18]。从重金属含量来看,无论石楠还是大叶黄杨,也无论根还是茎与叶,都是 Zn 最高,其主要原因一是所用污泥中 6 种重金属因素以 Zn 最高,二是由于 Zn 是植物生长的必需元素,植物对其具有选择吸收能力。研究小麦对污泥中 Zn、Cd 和 Pb 的吸收表明,无论根还是叶,均以 Zn 的含量最高^[1];朱志良^[19]等研究了 8 种观赏植物对污泥堆肥中重金属的吸收也表明,8 种植物对重金属的吸收总量均以 Zn 最高。在富集系数中,2 种植物对 Cr 与 As 的富集系数较低,尤其是对 Cr 的富集系数均不超过 5.5%,Zn 虽然含量最高,但富集系数并不高,根系对 Cu 和 Cd 的富集系数最高,茎和叶对 Pb 和 Cd 的富集系数最高。该研究中 Cd 虽然是污泥中 6 种重金属含量中最低的,但其富集系数并不低,说明这 2 种植物对 Cd 的富集能

力较强。2 种植物相比,大叶黄杨对重金属的富集系数高于石楠,说明大叶黄杨富集重金属的能力比石楠强,也说明植物种类不同富集重金属的能力也会不同。总之,重金属元素类型、植物种类以及植物的不同部位是影响植物对污泥重金属的吸收和富集作用的重要因素。

4 结论

生活污泥因 Cd 和 As 偏高,在土地利用中应该以林业和园林绿化为主。

随着栽培基质中污泥组成的变化,石楠和大叶黄杨中重金属含量与富集系数均没有呈现出有规律变化。

无论是石楠还是大叶黄杨,根、茎、叶的重金属含量中均以 Zn 最高,根以 Cd 最低,茎和叶都以 As 最低。

大叶黄杨根中 6 种重金属含量均显著高于石楠,茎中只有 Zn 含量显著高于石楠,叶的重金属含量与石楠无显著差异。

As 在石楠中的含量呈根>茎>叶的规律变化,Cd 和 Pb 则是根显著低于茎与叶,根中的 Cu 和 Cr 显著高于茎与叶,Zn 则是茎中的含量显著低于根与叶;在大叶黄杨中,As 和 Cu 的含量均呈根>茎>叶的规律变化,Cd 在根、茎、叶之间无规律性,Cr 在根中含量显著高于茎与叶,Pb 是茎显著高于根与叶,Zn 则是叶显著低于根与茎。

无论是石楠还是大叶黄杨,也无论是根还是茎与叶,对 Cr 和 As 的富集能力均很低,而根对 Cu、茎和叶对 Pb 富集能力很强。

大叶黄杨根对 6 种重金属的富集能力均显著高于石楠,茎对 Zn 与 Pb 的富集能力也显著高于石楠,叶片富集重金属的能力与石楠无显著差异。

参考文献

- [1] 李晓晨,马海涛,冯士龙,等.污泥中重金属的形态及在小麦幼苗中的富集[J].环境科学与技术,2007,30(3):1-5.
- [2] 徐兴华,马义兵,韦东普,等.污泥和水溶性重金属盐的植物有效性比较研究[J].中国土壤与肥料,2008(6):51-54.
- [3] 杨丽标,邹国元,张丽娟,等.城市污泥农用处置研究进展[J].中国农学通报,2008,24(1):420-424.
- [4] 吴新民.生活污泥的性质和农业利用可行性研究[J].安徽师范大学学报(自然科学版),1999,22(4):359-360,374.
- [5] Sterrite R M, Lester J N. Concentrations of heavy metals in forty sewage sludges in England[J]. Water, Air and Soil Pollution, 1981, 14: 125-131.
- [6] Oleszczuk P. Forms of polycyclic aromatic hydrocarbon in the formation of sewage sludge toxicity to *Heterocypris incongruens*[J]. Science of The Total Environment, 2008, 404: 94-102.
- [7] 刘颂颂,吕浩荣,莫罗坚,等.城市生活污泥在林业上的应用综述[J].广东园林,2007,29:23-25.
- [8] 刘凤枝,刘潇威.土壤和固体废物监测分析技术[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [9] Chen M, Li X M, Yang Q, et al. Total concentrations and speciation of heavy metals in municipal sludge from Changsha, Zhuzhou and Xiangtan in middle-south region of China[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 160:

324-329.

[10] 赵秀兰,卢吉文,陈萍丽,等. 重庆市城市污泥的重金属及其农用环境容量[J]. 农业工程学报,2008,24(11):188-192.

[11] 陈同斌,黄启飞,高定,等. 中国城市污泥的重金属含量及其变化趋势[J]. 环境科学学报,2003,23(5):561-569.

[12] Baerug R, Martinsen J H. The influence of sewage sludge on the content of heavy metals in potatoes and on tuber yield[J]. Plant and Soil, 1977, 47: 407-418.

[13] 丁文,王海勤. 城市污泥有机肥对马铃薯产量和品质及重金属吸收的影响[J]. 中国农学通报,2005,21(12):254-256.

[14] 林琦,陈英旭,陈怀满,等. 根系分泌物与重金属的化学行为研究[J].

植物营养与肥科学报,2003,9(4):425-431.

[15] Wang H, Shan X, Liu T, et al. Organic acids enhance the uptake of lead by wheat roots[J]. Planta, 2007, 225: 1483-1494.

[16] 杨仁斌,曾清如,周细红,等. 植物根系分泌物对铅锌尾矿污染土壤中重金属的活化效应[J]. 农业环境保护,2000,19(3):152-155.

[17] 韦朝阳,郑欢,孙歆,等. 不同来源蜈蚣草吸收富集砷的特征及植物修复效率的探讨[J]. 土壤,2008,40(3):474-478.

[18] 肖细元,陈同斌,廖晓勇,等. 我国主要蔬菜和粮油作物的砷含量与砷富集能力比较[J]. 环境科学学报,2009,29(2):291-296.

[19] 朱志良,梁栋,张荣华,等. 污泥堆肥土地利用中重金属在几种观赏植物中富集作用的研究[J]. 农业环境科学学报,2006,25(3):690-693.

Characteristics of Absorption and Enrichment of Heavy Metal in *Photinia serrulata* and *Euonymus japonicus* Planted in Sewage Sludge Substrates

SHI Hong-wen¹, YANG Lan-fang², DING Zhao-quan¹, TU Ji-hong¹

(1. Wuhan Institute of Landscape and Gardening, Wuhan, Hubei 430081; 2. College of Resource and Environmental Science, Hubei University, Wuhan, Hubei 430062)

Abstract: A pot experiment was conducted to investigate the characteristics of absorption and enrichment of heavy metal in *Photinia serrulata* and *Euonymus japonicus* planted in the various rate substrate of sewage sludge, in which the six heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) content in roots, stems and leaves of *Photinia serrulata* and *Euonymus japonicus* was determined. The results showed that the content and enrichment coefficient of heavy metals in *Photinia serrulata* and *Euonymus japonicus* did not regularly vary with the rate of sewage sludge in substrates. The highest content of heavy metals in roots, stems and leaves of *Photinia serrulata* and *Euonymus japonicus* was Zn, while the lowest content of heavy metals was Cd in roots and As in stems and leaves. The content of heavy metals in roots, stems and leaves had a higher trend in *Euonymus japonicus* than in *Photinia serrulata*, but the difference of six heavy metals in roots and Zn in leaves was significant. In *Photinia serrulata*, the content of As followed the order of roots > stems > leaves, Cd and Pb was lower in roots than in stems and leaves, Cu and Cr was higher in roots than in stems and leaves and Zn was lower in stems than roots and leaves. In *Euonymus japonicus*, the content of As and Cu followed the order of roots > stems > leaves, Cr was higher in roots than in stems and leaves, Pb was higher in stems than in roots and leaves, Zn was lower in stems than in roots and leaves, and Cd had no regular distribution among roots, stems and leaves. The enriching ability of *Photinia serrulata* and *Euonymus japonicus* to Cr and As was very weak, while it to Cu in roots and to Zn in stems and leaves was very strong. The enriching ability of *Euonymus japonicus* to six heavy metals in roots, to Zn and Pb in stems was significantly stronger than *Photinia serrulata*. In summary, 2 plants had a weak enriching ability to Cr and As and a strong ability to Pb and Cd, and the enriching ability of *Euonymus japonicus* to heavy metals was stronger than that of *Photinia serrulata*.

Key words: sewage sludge; heavy metal; *Photinia serrulata*; *Euonymus japonicus*; absorption; enriching ability

