

鄱阳湖湿地 22 种植物重金属富集能力分析

李 鸣¹, 吴结春², 李丽琴³

(1. 南昌大学教育部鄱阳湖湖泊生态与生物资源利用实验室, 江西 南昌 330031; 2. 北京水怡环境工程有限公司, 中国 北京 102300; 3. 北京市房山区实验中学, 中国 北京 102400)

摘 要:针对目前鄱阳湖重金属积累植物缺乏研究,采用野外采样系统分析法,对鄱阳湖湿地 22 种杂草植物进行 Cu、Pb、Zn、Cd 积累能力的初步系统研究,研究结果表明:鄱阳湖湿地已受到重金属的不同程度污染。灰化苔草(*Carex cinerascens* Kukenth.)对 Pb 的富集能力强;飞廉(*Carduus crispus* L.)和小窃衣[*Torilis japonica* (Houtt.)]对 Zn 的富集系数和转移系数都大于 1,且叶部 Zn 含量大;南荻(*Miscanthussacchariflorus*)、一年蓬(*Erigeron annuus*)、飞廉、鼠曲草(*Herba Gnaphalii Affinis*)具有重金属 Cd 富集植物的基本特征。此 6 种植物可以作为鄱阳湖湿地重金属污染修复植物的选择对象,其进一步研究的价值很大。

关键词:鄱阳湖湿地; 重金属; 积累植物; 筛选

中图分类号:X173 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)06-2413-06

Absorption and Accumulation of Heavy Metals by Plants in Poyang Lake Wetland

LI Ming¹, WU Jie-chun², LI Li-qin³

(1. Key Laboratory of Poyang Lake Ecology and Bioresource Utilization of MOE, Nanchang University, Nanchang 330031, China; 2. Beijing Watersoul Environmental Engineering CO.,LTD, Beijing 102300, China; 3. Fangshan Experimental High School, Beijing 102400, China)

Abstract: This paper focus on the absorption and accumulation of heavy metals lead, zinc, copper and cadmium by 22 plant species in the Poyang Lake, by the view of the current lack of research on plant accumulation of heavy metals by Field Sampling System. The results showed that: the Poyang Lake wetland had been polluted by heavy metals at different levels; *Carex cinerascens* Kukenth. had a higher capability of absorbing and accumulating on Pb. The Zn bioconcentration factor and transport coefficient of *Carduus crispus* L. and *Torilis japonica* (Houtt.) were greater than 1, and Zn concentrations in the leaves. *Miscanthussacchariflorus*, *Erigeron annuus*, *Carduus crispus* L. and *Herba Gnaphalii Affinis* possessed basic characteristics of accumulation on Cd. These six kinds of plants can be used as Poyang Lake wetland plant rehabilitation of heavy metal pollution of choice, the great value of further study.

Keywords: Poyang Lake wetland; heavy metals; accumulation plant; selection

鄱阳湖及赣江、抚河、信江、饶河、修水五大河流组成了鄱阳湖水系,它以一口通长江,是一个过水性吞吐型湖泊^[1]。鄱阳湖位于北纬 28°22'30"~29°45'、东经 115°47'30"~116°45',光照充足,年平均太阳总辐射量为 477×10³ J·cm⁻²·a⁻¹,平均气温 17.7℃^[2],湖泊地域辽阔,植物资源丰富,现有植物种类 380 余种,包含属数最多的是禾本科、莎草科与菊科,全湖单位面积生物量为 1 208 g·m⁻²^[3]。

鄱阳湖湿地是我国公布的首批国家重点保护湿

地之一,1992 年 7 月被联合国教科文组织列入了世界《湿地公约》的“重要湿地名册”^[4]。鄱阳湖湿地已受到各种重金属的不同程度的污染^[5],主要污染区域为五河入湖口及湖口,污染源主要是矿山酸性废水和工业废水。如何监测重金属污染,净化环境,是当前急需解决的问题。植物生境中的重金属含量与植物组织中的重金属含量正相关^[6-7],植物组织中很多元素的含量是其生境中的几十甚至上百倍^[8-10]。因此可以通过分析植物体内重金属含量来指示其生存环境中的重金属水平以及利用重金属超积累植物对其生存环境进行重金属污染的生态修复。

收稿日期:2007-12-18

作者简介:李 鸣(1957—),男,江西南昌人,教授,主要从事区域生态经济研究。E-mail:liming@ncu.edu.cn

1 材料与实验方法

1.1 样品的采集

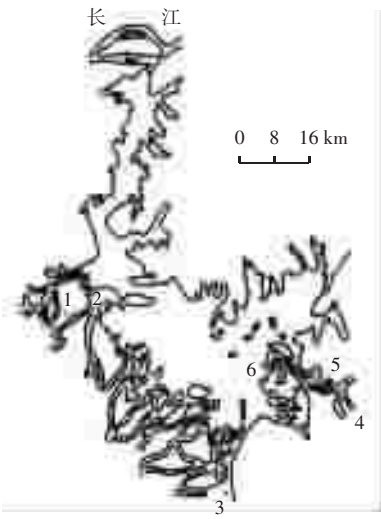
采样点采用选择性方式布设:修水入湖口、赣江主支入湖口、信江西支入湖口、乐安江口、昌江口,饶河入湖口(见图 1)。按典型物种 S 型布点原则,于 2006 年 12 月在上述点采集了 22 种植物及对应土壤。植物和土壤样品分别装入聚乙烯采集袋,相对应的植物样和土样编号一致。土样约 1 kg,植物样约 0.5 kg,做好详细记录,带回实验室。植物和土壤样品见表 1。

1.2 植物样处理

植物样品用自来水将表面的泥土冲洗干净,再用超纯水漂洗,阴干后用枝剪切碎,部分植物样按根、茎、叶等器官分开。70℃电热干燥箱中烘至恒重(大约 5 h)。干样在碾钵中碾碎后,用四分法逐步缩分得待测植物样,装入聚乙烯塑料袋中,低温下密封保存备用。消解:①取干燥过筛后的植物样 0.2 g 左右于洁净干燥 100 mL 的锥形瓶中,编号;②上述①中加入 3 mL 浓 HNO₃ 过夜;③上述②中加入 5 mL 浓 HNO₃ 及 5 mL HClO₄,摇匀,加热;④待上述③余液不多时,加入 5 mL 浓 HNO₃,加热;⑤上述④快干时,滴加浓 HNO₃ 至透明无色,蒸至冒白烟,出现粉红色或白色时,即止;⑥室温,以 HNO₃ [V(HNO₃):V(H₂O)=1:499] 溶液定容于 50 mL 容量瓶中,待测。

1.3 土壤样处理

土壤样品,平铺在白纸上,经自然风干、除杂、混合均匀后,用木棒将样品研细过 400 目尼龙筛,用四分法进行缩分,装入聚乙烯塑料袋中低温密封保存备用。消解:本文采用 WMX 型微波炉酸溶全分解法消



1、修水河口 2、赣江主支口 3、信江西支口
4、乐安河口 5、昌江口 6、饶河口(龙口)

图 1 鄱阳湖湿地采样点分布示意图

Figure 1 Sampling sites of Poyang Lake

解土样。用分析天平准确称取 0.2 g 左右土样于聚四氟乙烯消解罐中,加入 1 mL 二次蒸馏水水润湿样品,依次加入 4 mL 浓硝酸、4 mL 浓氢氟酸及 2 mL 高氯酸形成混合消解体系,消解罐摇匀后密封,置于微波炉中消解 20 分钟,消解结束后待消解罐冷却至室温后打开罐盖,置于 180℃赶酸板上赶酸,后移入 50 mL 容量瓶中,用硝酸[V(HNO₃):V(H₂O)=1:499]溶液定容后,待测。

1.4 测定方法

本文采用原子吸收分光光度计法(AAS)测定样品中 Cu、Zn 的总量;石墨炉系统测定样品中 Pb、Cd 的总量。

表 1 鄱阳湖湿地植物样品科属名称

Table 1 The section species of plants in the Poyang Lake wetlands

植物科属	植物名称	拉丁名	植物科属	植物名称	拉丁名
蓼科	刺果酸模	<i>Rumex hadroocarpus</i> Rech.	菊科	飞廉	<i>Carduus crispus</i> L.
蓼科	柳叶蓼	<i>Polygonum bungeanum</i> Turcz.	菊科	野艾	<i>Artemisia vulgaris</i> L.
蓼科	辣蓼	<i>Polygonum orientale</i> Linn.	菊科	一年蓬	<i>Erigeron annuus</i> (Linn.)Pers.
蓼科	蓼子草	<i>Polygonum barbatum</i> L.	菊科	鼠曲草	<i>Herba Gnaphaïi Affinis</i>
蓼科	扁蓄	<i>Polygonum aviculare</i> Linn.	菊科	茼蒿菊	<i>Cotula</i>
禾本科	南荻	<i>Miscanthussacchariflorus</i>	十字花科	臭芥	<i>Coronopus</i>
禾本科	假俭草	<i>Eremochloa ophiuroides</i>	灯心草科	江南灯心草	<i>Juncus leschenaultii</i> Gay
禾本科	牛鞭草	<i>Hemathria sibirica</i>	马鞭草科	土荆芥	<i>Chenopodium</i>
莎草科	灰化苔草	<i>Carex cinerascens</i> Kuenth.	蔷薇科	下江萎陵菜	<i>Potentilla chinensis</i> Ser.
莎草科	芒尖苔	<i>Carex doniana</i> Spreng	唇形科	荔枝草	<i>Salvia plebeia</i> R.Br.
莎草科	香附子	<i>Cyperus rotundus</i> L.	伞形科	小窃衣	<i>Torilis japonica</i> (Houtt.) DC.

2 结果与分析

富集系数 (Bioconcentration factor BCF) 是指植物体内某种重金属含量与根区土壤中该种重金属含量的比值^[1], 它反映了植物对某种重金属元素的积累能力。富集系数越大, 其积累能力越强。尤其是植物地上部富集系数越大越利于植物提取修复, 因为地上部生物量比较容易收获。为了提高植物提取修复的效率, 植物地上部重金属含量应高于土壤中该重金属的含量, 特别是在土壤中重金属浓度没有超过植物所能积累的最高临界含量的情况下更是如此^[12]。植物地上与根部重金属含量的比值称为植物的转移系数 (Transport coefficient), 用来表示植物体对重金属从根部到地上部的有效转移程度^[13]。

本文采用 AAS 法测定样品中 Cu、Zn 的总量; 石墨炉系统测定样品中 Pb、Cd 的总量。筛选出 6 种重金属富集能力较强的植物 (见表 2)。由表 2 可以看出, 鄱阳湖区各河口湿地土壤重金属含量差异不大, 赣江和修水河口湿地重金属含量相对信江、饶河、乐安江、昌江要小。Cu 含量在赣江和修水河口达一级土壤质量标准, 信江、饶河、乐安江、昌江为三级质量标准; Pb 全部采样点为二级质量标准; 赣江和修水河口 Zn 达二级质量标准, 信江、饶河、乐安江、昌江为三级质量标准; Cd 在鄱阳湖区含量都超过土壤质量标准三级。6 种植物在采样点都能很好的生长, 说明湿地土壤重金属污染程度未超过植物的耐性。

不同重金属在植物体内富集量有很大差异, Cu 富集在 $5.7\sim 62.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间、Pb 为 $0.0\sim 66.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Zn 是 $14.2\sim 599.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Cd 为 $0.0\sim 22.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 总体来看, 植物重金属富集量: $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$ 。

不同植物对重金属的吸收特性差异较大, 鼠曲草对 Cu 的吸收量最高, 达 $33.6\sim 44.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 一年蓬 $30.3\sim 45.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 次之, 飞廉最小; 对 Pb 的富集, 灰化苔草地上部分达 $65.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $66.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 根部为 $45.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $41.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其他 5 种植物的富集量小; Zn 在飞廉、小窃衣中含量较高, 分别有 $106.3\sim 599.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $14.2\sim 510.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 另外 4 种植物 Zn 积累量相对较小; Cd 在植物体内积累总量小, 但 Cd 的生物毒性大, 生态危害性强, 一年蓬 Cd 含量 $4.1\sim 22.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 飞廉 $0.2\sim 7.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 南荻 $0.8\sim 6.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 鼠曲草 $1.9\sim 5.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 灰化苔草和小窃衣 Cd 的含量小。

富集系数和转移系数 (见表 3) 显示, 灰化苔草

Cu、Zn、Cd 的富集和转移系数皆小于 1, Pb 的富集系数在 1.4~3.2 间, 转移系数 1.4 和 1.6; 南荻根部 Cd 的平均富集系数 1.5, 地上部分有 0.8~2.8, 南荻对 Cu、Pb、Zn 的富集和转移能力一般; 一年蓬 Cu、Pb、Zn 的富集能力小, Cu 转移系数小, Pb、Zn 的转移系数较大, 分别为 3.2、2.2, 对 Cd 的富集系数地上为 1.4 和 5.3, 转移能力强, 系数为 2.0、1.3; 飞廉 Zn、Cd 富集能力和转移能力强, 地上部分富集系数最高为 Zn: 1.9 和 Cd: 3.9, 转移系数 Zn、Cd 最高分别达 5.6 和 4.5, 对 Cu、Pb 的富集能力小, 但是转移能力较好, 尤其是叶部; 小窃衣 Cu、Pb、Cd 的富集和转移能力弱, 地上部分对 Zn 富集能力较好, 富集系数在 0.9~2.1 之间, 转移系数大于 1, 最高达 35.9; 鼠曲草 Cu、Pb 的富集和转移能力小, Zn 的富集能力小, 但转移系数为 1.5, 地上部分对 Cd 的富集能力强, 系数为 1.3、1.8, 转移系数也高达 2.5、2.1。

3 结论

重金属超富集植物这一概念最初是由 Brooks 等^[14-15]提出的, 当时用以定义地上部富集 Ni 超过 $1\ 000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的植物。一般认为超富集植物应同时满足以下 3 个标准^[14, 16], 植物地上部富集的某种元素含量达到生长在同一介质非超富集植物地上部含量的 100 倍以上, 其临界含量标准 (以干重计) 是 Cu、Pb $1\ 000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Zn $10\ 000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Cd $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 地上部重金属含量大于根部含量; 植物的生长没有受到明显的伤害。理想的超富集植物还应具有生长期短、抗病虫能力强、地上部生物量大、能同时富集 2 种或 2 种以上重金属的特点。本实验将参试植物地上部对某一种重金属富集系数和转移系数都大于 1 的植物称为高积累植物, 低于 1 的植物称为低积累植物。

调查的 22 种杂草地上部重金属含量均未达到超富集植物的临界含量标准, 且其中 16 种植物对 Cu、Pb、Zn、Cd 的富集系数和转移系数均 < 1 , 不具备鄱阳湖湿地重金属高积累植物的基本特征。

灰化苔草根部和地上部 Pb 的富集系数均 > 1 , 且地上部含量大于根部含量; 飞廉和小窃衣地上部分 Zn 的富集系数 > 1 , 转移能力强, Zn 主要富集在植物叶部。飞廉叶部 Zn $599.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 转移系数达 5.6, 小窃衣叶部 Zn $510.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 转移系数为 35.9。南荻、一年蓬、飞廉、鼠曲草地上部分 Cd 的富集系数均大于 1, 转移系数也大于 1, 值得注意的是一年蓬地上部分含 Cd 最高达 $22.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其中灰化苔草、飞廉、小窃

表 3 鄱阳湖湿地植物重金属富集系数和转移系数
Table 3 Bioconcentration factor and transport coefficient of plants

植物名	样品编号	植物部位	富集系数				转移系数			
			Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd
灰化苔草	WHT-10	根	0.3	1.4	0.4	0.5	0.7	1.4	0.7	0.7
		地上	0.2	2.0	0.3	0.3				
南荻	RSLJ-4	根	0.7	2.0	0.8	0.0	0.6	1.6	0.6	0
		地上	0.4	3.2	0.5	1.2				
	WHT-12	根	0.3	1.5	0.9	1.1	1	0	0.6	2.4
		地上	0.3	0.0	0.5	2.8				
	ZHC-2	全株	0.2	0.0	0.3	0.5				
	RSLJ-2	根	0.5	0.7	0.7	0.7				
		茎	0.1	0.2	0.3	0.8	0.3	0.3	0.5	1.3
	叶	0.1	0.3	0.5	1.3					
	RSLJ-3	全株	0.1	0.0	0.7	0.6	1.4	0	0.8	0.9
		LK-6	根	0.3	0.0	2.1				
地上	0.3		0.0	1.2	2.1	0.8	0	0.6	0.7	
一年蓬	RSLJ-9	根	0.2	0.1	0.3					0.7
		地上	0.2	0.4	0.7	1.4				
	RH-6	根	0.4	0.0	0.7	3.9	0.8	0	1.7	1.3
		地上	0.3	0.1	1.2	5.3				
飞廉	LK-3	根	0.0	0.0	0.4	0.1	2.2	0	2.3	4.5
		地上	0.1	0.0	1.0	0.4				
	LK-7	根	0.0	0.0	0.3	1.0				
		茎	0.1	0.0	0.6	1.3		2.1	0.5	2.5
	叶	0.1	0.1	1.5	3.9	2.3	3.2			
	RSLJ-6	根	0.1	0.4	0.6			0.4	1.5	1.8
		地上	0.2	0.7	1.0	0.6				
	RH-9	根	0.1	0.0	1.0	0.4	1.3	0	1.8	2.5
		地上	0.1	0.0	1.7	1.1				
	RH-10	根	0.1	0.0	0.8	0.4	3.7	4.9	2.5	2.8
		地上	0.2	0.2	1.9	1.0				
	小蓟衣	RSLJ-11	根	0.2	0.3	0.7	0.9	0.8	3.2	1.8
地上			0.2	1.0	1.3	0.6				
LK-4		根	0.1	0.1	0.1	0.0				
		茎	0.1	0.0	0.1	0.5	1.2		0.1	1.1
叶		0.1	0.1	2.1	0.2	1		0.9		
LK-8		根	0.2	0.1	0.5		5.6		0.7	2
		地上	0.1	0.1	0.9	5.3				
RH-4		根	0.3	0.0	0.9	0.0	0.7	0	1.2	0
	地上	0.2	0.1	1.1	0.0					
鼠曲草	LK-5	根	0.4	0.1	0.6	0.7	1	0.5	1.5	2.5
		地上	0.4	0.1	0.9	1.8				
	RSLJ-8	根	0.3	1.5	0.4	0.7	0.8	0.5	1.5	2.1
		地上	0.2	0.7	0.6	1.3				

衣、南荻、一年蓬的生物量都较大。所以,灰化苔草具备富集 Pb,飞廉和小窃衣具有富集 Zn,南荻、一年蓬、飞廉和鼠曲草有富集 Cd 的鄱阳湖高富集植物的基本特征,可以列为鄱阳湖湿地重金属污染修复植物的选择对象,进一步研究的价值很大。因此,以杂草植物作为超富集植物筛选对象很可能获得较大突破。

参考文献:

[1] 鄱阳湖研究编委会. 鄱阳湖研究 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988.
Editorial Committee of Studies on Poyang Lake. Studies on Poyang Lake [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press,1998.

[2] 程时长.鄱阳湖湿地特征及生态资源[J].江西水利科技,2002, 28(4): 249–251.
CHENG Shi–chang. The wetland feathers and the ecological resources of the Poyang Lake[J]. *Jiangxi Hydraulic Science & Technology*,2002,28 (4):249–251.

[3] 简永兴,李仁东,王建波,等.鄱阳湖滩地水生植物多样性调查及滩地植被的遥感研究[J].植物生态学报,2001,25(5):581–587.
JIAN Yong–xing, LI Ren–dong,WANG Jian–bo, et al. Aquatic plant diversity and remote sensing of the beach vegetation in Poyang Lake[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2001,25(5):581–587.

[4] 吴江天.江西鄱阳湖国家级自然保护区湿地生态系统评价[J].自然资源学报,1994,9(4):333–334.
WU Jiang–tian. Evaluation of the wetland ecosystem of the Poyang Lake national nature reserve in Jiangxi Province [J].*Journal of Natural Resources*, 1994,9(4):333–334.

[5] 弓晓峰,陈春丽,周文斌等.鄱阳湖底泥中重金属污染现状评价[J].环境科学, 2006, 27(4):732–736.
GONG Xiao–feng, CHEN Chun–li, ZHOU Wen–bin, et al. Assessment on heavy metal pollution in the sediment of Poyang Lake [J]. *Environmental Science*,2006,27(4):732–736.

[6] Sawidis T,Stratis J,Zarhariadis G. Distribution of heavy metals in sediments and aquatic plants of the river Pinios(Center Greece)[J]. *Sci Total Environ*,1991,102:261–266.

[7] Bohm P ,Woherbeek H,Verburg T,et al.The use of tree bark for environmental pelutuin monitoring in the Czech Republic[J].*Environ Polut* , 1998, 102: 243–250.

[8] Jenner H A,Jannnsen–Mommen J P M.Duckweed lemna minor as a tool for testing toxicity of coal residues and polluted sediments [J]. *Arch of Environ Contam Toxicol*, 1993,25:34–37.

[9] 胡肄慧,陈章龙,陈林芝,等.风眼莲等水生植物对重金属污水监测和净化作用的研究[J].植物生态学与地植物学丛刊,1981,5(3):187–192.
HU Yi–hui,CHEN Zhang–long, CHEN Ling–zhi , et al. Studies of the monitoring and purify ying process on the heavy metals in wastewater by the water hyacinth and some vascular plants[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1981,5(3):187–192.

[10] Cebumis D,Steines E.Conifer needles as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: Comparsion with mosses and precipitation, role of the canopy[J]. *Atmos Environ*, 2000,34:4265–4271.

[11] Salt E D, Blaylock M B, Kumar NPBA, et al. Hytore–Mediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants[J]. *Biotechnology*,1995,13: 468–474.

[12] Salt D E. Phytoextraction: Present applications and future promise[C] // Wise D L, et al. (Eds.). Bioremediation of Contaminated Soils. New York: Marcel Dekker Press, 2000.

[13] 崔 爽,周启星,晁 雷. 某冶炼厂周围 8 种植物对重金属的吸收与富集作用[J].应用生态学报, 2006,17(3):512–515.
CUI Shuang, ZHOU Qi–xing, Chao Lei. Absorption and accumulation of heavy metals by plants around a smelter [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006,17(3):512–515.

[14] Brooks R R , Chambers M F, Nicks L J, et al.Phytomining[J]. *Trends in Plant Science*, 1998,3(9):359–362.

[15] Brooks R R, Lee J, Reeves R D, et al. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants[J]. *Geochem Explor*, 1977,7:49–57.

[16] Reeves R D, Baker A J M. Metal accumulating plants[C]//Raskin I, Ensley B D (Eds.). Phytoremediation of toxic metals: Using plant to clean up the environment. New York : John Wiley Press,2000.