

金华地区 11 种杂草对 4 种重金属的吸收与富集作用研究

黄朝表, 郭水良, 陈旭敏, 皇甫莹

(浙江师范大学生命与环境科学学院, 浙江 金华 321004)

摘 要: 定量测定了分布于浙江师大校园(地处金华)及金华某冶炼厂的 11 种杂草对 4 种重金属的吸收与富集能力。结果表明, 对 Cu 吸收和富集能力较强的有早熟禾 (*Poa annua*)、裸柱菊 (*Soliva anthemifolia*)、北美独行菜 (*Lepidium virginicum*)、北美鬼针草 (*Bidens frondosa*); 对 Cd 富集能力较强的是北美车前 (*Plantago virginica*)、早熟禾、裸柱菊和蚊母草 (*Veronica peregrina*); 对 Pb 的吸收富集能力以早熟禾、蚊母草和裸柱菊等为强; 对 Cr 吸收富集能力较强的是蚊母草、早熟禾和北美车前。

关键词: 杂草; 重金属; 植物修复

中图分类号: X503. 233 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2001)04 – 0225 – 04

Absorption and Accumulation of Four Heavy Metals by Eleven Weeds in Jinhua, Zhejiang

HUANG Chao-biao, GUO Shui-liang, CHEN Xu-min, HUANGPU Ying

(College of Life and Environmental Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, 321004 China)

Abstract: Absorption and accumulation of four heavy metal pollutants by 11 weeds were studied at campus of Zhejiang Normal University, and a smelting plant in Jinhua, respectively. It has been found that some weeds having high enriching abilities of Cu included *Poa annua*, *Soliva anthemifolia*, *Lepidium virginicum* and *Bidens frondosa*; while the weeds such as *Plantago virginica*, *Poa annua*, *Soliva anthemifolia* and *Veronica peregrina* had high enriching abilities of Cd and As, respectively. *Poa annua*, *Veronica peregrina* and *Soliva anthemifolia* exhibited high abilities of accumulation of Pb; *Veronica peregrina*, *Poa annua* and *Plantago virginica* showed high accumulation abilities for Cr.

Keywords: weeds; heavy metals; phytoremediation

植物修复技术被认为是治理土壤重金属污染有效而又实用的一项新的环境生物技术。该技术的理论基础是, 某些植物能够忍耐和超量积累某种或某些化学元素, 利用这类植物来清除土壤环境中的污染物^[1]。植物修复技术研究尚处于起步阶段, 目前工作的热点是筛选能够有效富集环境污染物的植物。理想的用于污染环境修复的植物应该具有: (1) 生长快, 生物量大; (2) 能够抗病虫害; (3) 能够在植物体内积累高浓度的污染物; (4) 同时能够积累几种重金属。但是, 从哪一类植物中寻找高效的重金属富集植物有待解决。杂草是一类特殊的植物类群, 它们有非常明确的生物学和生态学特点。在生态学上, 其种群主要分布于被人为干扰破坏(污染等)的环境中, 在生物学

上, 它们生长快, 抗逆性强, 生物量大。在我国水域环保工作中, 已经取得的有应用价值的污染物富集植物均为典型的水生杂草, 最有代表性的是凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*) 和空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*)^[2], 刘金林(1989)研究表明, 外来杂草一年蓬 (*Erigeron annuus*) 对重金属有较强的富集能力^[3]。彭少麟等(1999)指出, 部分外来杂草能够生长于金属元素含量高而土著种难以生长的环境中^[4]。因此, 人们有可能从杂草中筛选到高效的环境重金属污染修复植物。

从农业生产的角度, 杂草并不包括藓类植物, 但从生物学和生态分布上来讲, 某些藓类植物具有典型的“杂草性”^[5]。因此, 在本文中的杂草包括了 2 种明显具有杂草性的藓类植物。本文研究的目的, 是以金华地区某冶炼厂厂区和环境较好的浙江师大校园中分布的 11 种常见草本植物为研究对象, 通过测试与

收稿日期: 2000 – 09 – 01

基金项目: 浙江省大型仪器测试基金资助, 编号: 00066

作者简介: 黄朝表(1964—), 男, 浙江师范大学生命与环境科学院讲师, 主要从事分析化学研究。

统计分析,明确它们对重金属的吸收富集特点,探讨它们在环境净化上的应用潜力,以期了解从杂草中寻找污染环境修复植物的可行性。

1 材料与方法

1.1 材料采集

材料分别采自环境污染较为严重的金华地区某冶炼厂和环境较好的浙江师大校园内。

在冶炼厂内采集的材料有:北美车前 (*Plantago virginica* Linn.)、一年蓬 (*Erigeron annuus* (Linn.) Pers.)、北美鬼针草(大狼把草) (*Bidens frondosa* Linn.)、早熟禾 (*Poa annua* Linn.)、蚊母草 (*Veronica peregrina* Linn.)、节节草 (*Hippochaete ramosissima* (Desf.) Boerner)、真藓 (*Bryum argenteum*) 和丝瓜藓 (*Pohlia cruda*)。

在浙江师大校园内采的材料有:北美车前、一年蓬、北美鬼针草、北美独行菜 (*Lepidium virginicum* Linn.)、细叶芹 (*Apium leptophyllum* (Pers.) F. Muell.)、裸柱菊 (*Soliva anthemifolia* (Juss.) R. Br.) 等。

共采集 9 种维管植物,2 种类藓类植物(具杂草性),其中北美车前、北美鬼针草、北美独行菜、一年蓬、裸柱菊、细叶芹等 6 种是由境外传入我国的外来杂草。采集时,同时采集植物生长的土样。在室内分别制成根、茎、叶、花序以及土样的分析样品。

1.2 仪器与试剂

土样用孔径为 2 mm、1 mm、0.25 mm 的土壤筛进行筛选,再取其细碎部分进行研磨,植物样品在清除表面尘埃后进行细磨。取每个样品各约 1.000 g 于烧杯中,分别加入 10 mL 浓 HNO₃,于电热板上加热 30 min,取下冷却后,加入 3 mL 浓 HClO₄、1 mL 浓 H₂SO₄ (均为优级纯),消化过程中适量补加 HNO₃ 和 HClO₄,至其成为透明清液,冷却后将其全部移入 25 mL 的容量瓶,用二次水稀释定容,以试剂空白作空白对照。应用日产岛津原子吸收/火焰发射分光光度计(AA-670)测定 Cr、Cd、Pb、Cu 等 4 种金属离子的含量(奚旦立,1997)。4 种元素的分析条件见表 1,它们的标准

表 1 4 种金属元素的分析条件

Table 1 Analytical conditions for detection of 4 metals

元素	波长/nm	夹缝宽度/mm	灯电流/μA	乙炔流量/L·min ⁻¹
Cu	324.8	0.5	3	1.6
Pb	217.0	0.3	7	1.8
Cd	228.8	0.3	4	1.8
Cr	537.9	0.5	5	2.6

液制取如下。

Cu²⁺贮备液:称取 0.250 0 g 金属 Cu 置于 100 mL 烧杯中,加入 10 mL HNO₃ 溶解,在砂浴上加热至近干,加入 3 mL 浓 H₂SO₄,蒸至冒白烟,冷却后转入 250 mL 容量瓶,用二次水稀释至刻度,即为 1.000 mg L⁻¹ 的 Cu²⁺溶液。

Pb²⁺贮备液:称取 0.250 0 g 金属 Pb 置于 100 mL 烧杯中,加入 10 mL 1:2 HNO₃ 溶解,加热除去 NO₂,冷却后转入 250 mL 容量瓶中,用二次水稀释至刻度,即为 1.000 mg·L⁻¹ 的 Pb²⁺溶液。

Cd²⁺贮备液:称取 0.250 0 g 金属 Cd 置于 100 mL 烧杯中,用 1:1 HCl 溶解,冷却后转入 250 mL 容量瓶中,用二次水稀释至刻度,即为 1.000 mg·L⁻¹ 的 Cd²⁺溶液。

Cr 贮备液:将 K₂CrO₇ 在 120 ℃ 下干燥至恒重,再称取 3.734 9 g,溶于水转入 1 000 mL 容量瓶,用二次水稀释至刻度,即为 1.000 mg·L⁻¹ 的 Cr 溶液。

2 结果与分析

9 种杂草不同部位重金属含量的测定结果见表 2、3。表 2、3 说明:

①不同杂草种类以及同一杂草的不同部位对各种重金属的吸收富集作用明显不同。应用植物器官样品中的重金属含量与土壤背景值的比值更能够反映植物对重金属的富集能力。对 Cu 吸收富集能力较强的有早熟禾根(4.69)、裸柱菊根(5.02)、北美独行菜的叶(6.63)、根(4.72)和茎(3.72)、北美鬼针草叶(4.37)和茎(2.27);对 Cd 有富集能力较强的是北美车前根(3.27)、早熟禾根(3.0)、裸柱菊根(3.01)、蚊母草根(2.26)等;9 种杂草对 Pb 的吸收富集能力以裸柱菊根(2.03)、早熟禾根(1.94)和茎(1.31)、蚊母草根(1.57)较强;对 Cr 吸收富集能力最强的是蚊母草根(10.77)和茎(3.41)、早熟禾花序(1.77)和北美车前根(0.89—1.35)。

②从土壤背景值和植物器官中的重金属含量绝对值中可以发现,节节草、蚊母草、一年蓬和北美车前等对土壤重金属污染耐受能力极强,它们能够分布于土壤 Cu 含量高达 3 550.4 mg·kg⁻¹、2 178.0 mg kg⁻¹、1 748.1 和 1 218.0 mg·kg⁻¹ 的环境中,而且它们根内 Cu 的含量也分别高达 2 281.3 mg·kg⁻¹、571.43 mg·kg⁻¹、210.33 mg·kg⁻¹ 和 1 045.9 mg kg⁻¹。

③杂草体内不同部位的重金属富集能力有一定

表 2 冶炼厂内 6 种杂草对 4 种重金属的富集作用(mg · kg⁻¹)

Table 2 Accumulation of 6 weeds on 4 heavy metals in the smelting factory (mg · kg⁻¹)

项目	早熟禾			节节草		北美鬼针草		蚊母草		北美车前		一年蓬	
	含量	比值		含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值
土	Cu	68. 81		3 550. 4		407. 19		2 178. 0		1 218. 6		1 748. 1	
	Pb	19. 36		60. 20		49. 95		87. 67		45. 07		33. 70	
	Cd	2. 09		3. 52		2. 22		2. 97		1. 92		3. 36	
	Cr	63. 02		88. 88		96. 81		35. 22		63. 53		166. 42	
根	Cu	322. 57	4. 69	2 281. 3	0. 64	334. 30	0. 82	571. 43	0. 26	1 045. 9	0. 86	210. 33	0. 12
	Pb	37. 52	1. 94	43. 06	0. 72	47. 41	0. 95	137. 86	1. 57	30. 63	0. 68	21. 47	0. 64
	Cd	6. 28	3. 00	3. 61	1. 03	2. 11	0. 95	6. 71	2. 26	6. 27	3. 27	3. 16	0. 94
	Cr	10. 23	0. 16	78. 61	0. 88	29. 60	0. 31	379. 29	10. 77	86. 02	1. 35	151. 81	0. 91
茎	Cu	33. 30	0. 48	29. 06	0. 008	52. 06	0. 13	153. 86	0. 071			112. 20	0. 064
	Pb	25. 29	1. 31	18. 63	0. 31	27. 35	0. 55	49. 14	0. 56			25. 61	0. 76
	Cd	2. 51	1. 20	2. 00	0. 57	2. 42	1. 09	3. 41	1. 15			4. 27	1. 27
	Cr	3. 28	0. 05	4. 29	0. 048	8. 19	0. 085	119. 96	3. 41			128. 94	0. 77
叶	Cu	29. 90	0. 43			39. 45	0. 097	102. 40	0. 047	216. 28	0. 18	126. 39	0. 072
	Pb	15. 57	0. 80			22. 13	0. 44	27. 86	0. 32	21. 93	0. 49	38. 18	1. 13
	Cd	1. 89	0. 90			1. 82	0. 82	1. 94	0. 65	2. 06	1. 07	3. 86	1. 15
	Cr	15. 15	0. 24			9. 13	0. 094	6. 04	0. 17	9. 76	0. 15	85. 43	0. 51
花序	Cu	28. 92	0. 42										
	Pb	11. 19	0. 58										
	Cd	0. 87	0. 42										
	Cr	111. 36	1. 77										

表 3 师大校园内 6 种杂草对 4 种重金属的富集作用(mg · kg⁻¹)

Table 3 Accumulation of 6 weeds on 4 heavy metals in the campus of Zhejiang Normal University (mg · kg⁻¹)

项目	北美车前			一年蓬		北美鬼针草		裸柱菊		细叶芹		北美独行菜	
	含量	比值		含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值
土	Cu	30. 61		30. 61		5. 88		7. 43		7. 43		1. 41	
	Pb	31. 47		31. 47		19. 48		22. 01		22. 01		22. 23	
	Cd	1. 70		1. 70		1. 51		1. 74		1. 74		1. 98	
	Cr	74. 26		74. 26		95. 39		168. 15		168. 15		107. 45	
根	Cu	42. 18	1. 38	46. 03	1. 50	12. 50	2. 12	37. 30	5. 02	10. 71	1. 44	6. 66	4. 72
	Pb	27. 41	0. 87	10. 61	0. 34	8. 89	0. 46	44. 76	2. 03	12. 89	0. 59	8. 90	0. 40
	Cd	2. 31	1. 36	3. 50	2. 06	0. 86	0. 57	5. 24	3. 01	0. 95	0. 55	0. 85	0. 43
	Cr	66. 34	0. 89	19. 95	0. 27	13. 17	0. 14	150. 20	0. 89	59. 14	0. 35	15. 26	0. 14
茎	Cu			27. 57	0. 90	13. 33	2. 27	13. 05	1. 76	5. 65	0. 76	5. 21	3. 70
	Pb			9. 72	0. 31	8. 12	0. 42	17. 02	0. 77	4. 72	0. 21	8. 90	0. 40
	Cd			3. 84	2. 26	1. 00	0. 66	1. 95	1. 12	0. 30	0. 17	0. 55	0. 28
	Cr			16. 43	0. 22	16. 61	0. 17	29. 90	0. 18	14. 74	0. 09	16. 67	0. 16
叶	Cu	20. 86	0. 68	27. 57	0. 90	25. 70	4. 37			10. 21	1. 37	9. 35	6. 63
	Pb	8. 76	0. 28	12. 21	0. 39	13. 84	0. 71			10. 89	0. 49	7. 40	0. 33
	Cd	0. 76	0. 45	2. 92	1. 72	1. 24	0. 82			0. 67	0. 39	0. 82	0. 41
	Cr	17. 79	0. 24	17. 70	0. 24	19. 38	0. 20			19. 85	0. 12	24. 73	0. 23
花序	Cu	22. 66	0. 74					15. 23	2. 05				
	Pb	7. 17	0. 23					10. 38	0. 47				
	Cd	0. 57	0. 34					0. 62	0. 36				
	Cr	17. 45	0. 23					19. 08	0. 11				

表 2、3 中的比值 = 植物样品中金属含量 / 土壤中金属含量 (表 5 同)。

的规律。9 种杂草对 4 种重金属的富集能力大多数表现出地下器官强于地上器官的特点。但也有一些例外,例如,一年蓬、北美鬼针草对 Pb 的吸收、一年蓬对 Cd 的吸收 (见表 4) 以及北美独行菜和早熟禾对 Cr 的吸收能力表现出地上部分强于地下部分的特点,这表明,重金属在这几种杂草体内有较高的迁移率。

作者在调查时注意到, 冶炼厂污染重的开阔地段, 大量分布着生长旺盛的真藓 (*Bryum argenteum* Hedw.) 和丝瓜藓 (*Pohlia cruda* (Hedw.) Lindb.), 而其它植物均无法生长。因此, 也对这两种藓类体内的 4 种重金属元素进行了测定, 结果见表 5。表 5 说明两种藓类植物分布 Cu 污染极为严重的环境中, 它们体内也有非常高的 Cu 含量, 显然这两种藓类对 Cu 有极强的忍耐能力, 另外, 两种藓类对 Pb 也表现出较强的耐受能力。

表 4 一年蓬根、茎、叶中 Cd 的含量(mg · kg⁻¹)

Table 4 Contents of Cd in root, stem and leaf of annual Erigeron annuus (mg · kg ⁻¹)			
项目		一年蓬(冶炼厂)	一年蓬(浙师大内)
土	根	3. 36	1. 70
	茎	3. 16	3. 50
	叶	3. 86	2. 92
	茎	4. 27	3. 84

表 5 银叶真藓和丝瓜藓对 4 种重金属的吸收(mg · kg⁻¹)

Table 5 Absorption of Bryum argenteum and Pohlia cruda on 4 heavy metals(mg · kg ⁻¹)					
项目		银叶真藓(冶炼厂)		丝瓜藓(冶炼厂)	
		含量	比值	含量	比值
土样	Cu	9 384. 3		19 718. 9	
	Pb	30. 12		42. 04	
	Cd	3. 19		3. 17	
	Cr	149. 5		91. 59	
地上茎叶	Cu	5 393. 1	0. 57	2 438. 8	0. 12
	Pb	34. 96	1. 16	60. 42	1. 44
	Cd	3. 18	1. 03	3. 64	1. 15
	Cr	34. 35	0. 23	20. 45	0. 22

3 讨论

关于陆地杂草对土壤环境中重金属的吸收与富集作用的研究报道并不多见。刘金林(1985)报道上海地区灰藜、车前 (*Plantago asiatica* Linn.) 和一年蓬 3

种陆生杂草对环境 Pb、Cu、Cd 和 Zn 4 种重金属的吸收能力, 指出陆生草本植物中, Pb 和 Cd 的含量是地上部分> 地下部分, 而 Cu 和 Zn 的含量是地下部分> 地上部分。本研究表明, 不同的植物中, 情况并不总是如此。

作者在采集样品时注意到, 冶炼厂污染重的地段, 仅分布有节节草、北美车前、早熟禾、蚊母草、北美鬼针草和一年蓬等少数几种杂草, 它们体内 Pb、Cu 含量也特别高。由于这些植物生物量大, 抗逆性强, 生长快, 在 Cu 污染环境中, 可以考虑应用它们作为 Cu 和 Pb 污染的修复植物。

外来杂草是最具有“杂草性”的植物。本研究表明, 北美车前、北美鬼针草、北美独行菜、一年蓬、裸柱菊、细叶芹这 6 种外来杂草对 Cu、Pb、Cd 和 Cr 也有较强的耐受和富集能力, 值得一提的是, 裸柱菊这种来自中美洲的杂草, 其根对 Cr 有极强的富集能力。另外, 北美车前、一年蓬和北美鬼针草能够分布于污染程度很高的土壤中, 北美独行菜和裸柱菊对 Cu 具有相当高的富集能力。因此, 将来的研究中, 还应该更多地关注外来植物在环境污染治理中的作用。

参考文献:

[1] 唐世荣, 黄昌勇, 朱祖祥. 利用植物修复污染土壤研究进展[J], 环境科学进展, 1996, 4(6): 10 - 14.

[2] 王德铭. 我国环境生物学研究新进展[J], 中国环境科学, 1989, 9(3): 169 - 178.

[3] 刘金林. 高等维管植物对重金属的吸收与富集[J], 中国环境科学, 1985, 5(2): 24 - 28.

[4] 彭少麟, 言向词. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响[J], 生态学报, 1999, 19(4): 560 - 569.

[5] O'keefe van der linden & Donld R. Farrar. An ecological study of the bryophytes of a natural prairie in Northwest Iowa[J]. The Bryologist, 1983, 86(1): 1 - 13.

[6] 奚旦立. 环境监测[M], 高等教育出版社, 1997.

《农业环境与发展》2002 年征订启事

《农业环境与发展》是由农业部环境保护科研监测所和全国农业环境保护科技信息网联合主办的国家级综合指导类科技期刊。该刊积极宣传我国农业生态环境保护有关政策, 及时报道生态农业建设与无公害农产品生产的发展, 在农业生态环境保护工作中发挥宣传指导作用。该刊主要刊登我国农业生态环境保护的方针政策、管理经验, 监测与评价方法, 生态农业建设理论与实践以及无公害农产品生产技术, 农业环境信息、动态等。同时, 《农业环境与发展》将在重要版面上宣传各地农业环境保护成就并承办各类相关广告业务。

《农业环境与发展》2002 年起改为双月刊, 48 页, 大 16 开, 逢双月 25 日出版, 刊号 ISSN 1005 - 4944, CN12 - 1233/S, 全国发行, 各地邮电局(所)均可订阅, 邮发代号 6 - 40, 每本定价 6. 00 元, 全年 36. 00 元。有漏订者可直接与编辑部联系订阅。本刊现有 1999—2000 年度合订本, 定价 60. 00 元/册(含邮资), 需订购者请直接从邮局汇款至编辑部订阅(务请在汇款单上注明订户详细地址及需订内容)。编辑部地址: 天津市南开区康复路 31 号 邮政编码: 300191 电 话: 022 - 23674336 传 真: 022 - 23367139 E - mail: caed@ public. tpt. tj. cn