

文章编号: 1000-5013(2008)02-0250-06

泉州湾互花米草中重金属富集程度分析

胡恭任, 于瑞莲

(华侨大学 材料科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 采用电感耦合等离子体发射光谱(ICP-AES)法, 分析泉州湾滩涂沉积物及互花米草成熟植株体内Cu, Zn, Ni, Mn, Co, Fe, V, Pb, Cr等金属的质量分数, 研究互花米草的叶、茎、根对不同重金属的富集程度和富集能力, 以及共存金属元素对金属富集的影响. 研究表明, 互花米草的叶、茎、根内含一定量的Cu, Zn, Ni, Mn, Co, Fe, V, Pb, Cr等金属元素, 泉州湾滩涂沉积物存在Cu, Pb, Zn, Cr的污染, 互花米草植株体内也有一定程度的重金属污染, 不再具有原来的经济价值. 互花米草植株的根对Mn, Cr, Cu, Fe, Ni的富集系数大于或接近1. 重金属元素的共存能促进其他重金属的吸收, 降低滩涂沉积物中重金属的质量分数. 单株互花米草富集的重金属总量较大, 互花米草的生物量大, 通过收割富集重金属的互花米草地上部分, 可以有效地降低互花米草生长环境中水体或沉积物的重金属质量分数.

关键词: 互花米草; 泉州湾; 滩涂沉积物; 重金属; 富集

中图分类号: Q 949.71+4.201(257)

文献标识码: A

互花米草系禾本科植物, 虎尾草族, 米草属多年生植物, 是能够生长在海滩上且繁殖特别迅速的植物之一^[1]. 互花米草不仅茎叶密茂, 叶片的构造和器官具有泌盐和贮存空气的特殊功能^[2], 而且根系和地下茎发达^[3]. 由于互花米草的耐淹、耐盐、生物量大等特点, 大部分互花米草能够在潮滩上生长, 在福建的泉州湾分布很广. 田吉林等^[4]在研究互花米草对有机汞的耐性、吸收及转化时指出, 互花米草对金属汞有累积作用, 能将有机汞(主要是甲基汞)转化为无机汞, 并且储存在根部, 对汞的耐性比其他植物要高, 对植物修复有重要作用. 本文研究互花米草植株体内富集的重金属质量分数和沉积物中酸可溶性重金属质量分数的关系, 确定互花米草对重金属的富集程度, 以及共存金属元素对富集作用的影响.

1 实验与方法

1.1 样品采集

2006年11月~12月, 选择退潮时泉州湾潮间带互花米草生长良好的地方设置9个采样站位, 这些点分布在洛阳江、晋江、水头、蚶江的海湾滩涂上. 在各采样点分别采集一整株生长良好的互花米草, 以及在约1 m²的区域内根系所能达到深度的沉积物一份. 用塑料勺采集0~5 cm内的表层沉积物, 装入贴好标签的可密封塑料袋中, 带回实验室于-20℃冰箱中保存.

1.2 植物样品的处理

先用自来水冲洗净互花米草植株上的杂物, 再用蒸馏水清洗一遍. 将洗净的叶、茎、根分别装入不同的烧杯里, 放入60℃烘箱中烘干至衡质量. 关掉电源待其冷却至室温, 装入塑料袋密封保存, 分别称量叶、茎、根的烘干质量. 将坩埚洗净, 再用蒸馏水复洗一次, 烘干至衡质量, 称量. 将储存袋中的植物样品取出放进坩埚, 将其在450℃的马弗炉中灰化24 h. 取出, 冷却至室温, 装袋密封, 称量灰化样质量. 称量1 g植物干样对应的灰分质量, 用10 mL浓硝酸(分析纯)在80℃水浴消解至干. 然后用10 mL的质量

收稿日期: 2007-12-14

作者简介: 胡恭任(1966-), 男, 研究员, 博士, 主要从事环境地球化学的研究. E-mail: grhu@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40673061); 福建省自然科学基金资助项目(D0310017); 东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室开放基金资助项目(070714)

分数为 3% 的 HNO_3 溶解并离心 ($4\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 10 min) 分离, 上层清液移入 50 mL 的容量瓶中. 残渣用质量分数为 3% 的 HNO_3 再次溶解并离心 3 次, 上层清液全部转移至容量瓶, 用质量分数为 3% 的 HNO_3 定容. 置于 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱中冷藏, 待测.

1.3 沉积物样品的处理

将从取样点带回的沉积物放入 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱中冷藏一定时间, 取出放在实验台上常温下晾干, 再将其磨细. 用尼龙筛筛出小于 $63\text{ }\mu\text{m}$ 的样, 密封保存, 待测.

称 1 g 沉积物于 50 mL 塑料离心管中, 加入 10 mL 浓度为 $0.5\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HCl , 振荡 ($30\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$) 16 h 并离心 ($4\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 10 min) 分离, 上层清液移入 50 mL 容量瓶中, 残渣用浓度为 $0.5\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HNO_3 洗并离心 3 次, 上层清液全部转移至容量瓶, 用质量分数为 3% 的 HNO_3 定容. 置于 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱中冷藏, 待测.

1.4 分析方法

各消解提取液用 2000 DV 型电感耦合等离子体发射光谱仪 (ICP-AES, 美国 PE 公司) 分析. 分析过程中用沉积物标样和 GBPG-1 进行质量控制, 仪器分析结果与标准给定值的误差在允许范围内.

2 结果与讨论

2.1 重金属质量分数与富集分析

各采样点沉积物中的 Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Co, Fe, V, Pb 的质量分数 (w), 如表 1 所示. 由表 1 可知, Cu, Pb, Zn, Mn 质量分数均高于或接近福建省沿海土壤重金属背景值^[5]. 这表明该滩涂沉积物有一定程度的 Cu, Pb, Zn, Mn 污染. Micaela 指出 Fe 和 Mn 的氧化物能够固定其他重金属元素^[6].

表 1 各采样点沉积物中重金属质量分数(单位: 10^{-6})

Tab. 1 Heavy metal contents in the sediments where the samples of *Spartina alterniflora* were collected (unit: 10^{-6})

样号	$w(\text{Cu})$	$w(\text{Zn})$	$w(\text{Ni})$	$w(\text{Cr})$	$w(\text{Mn})$	$w(\text{Co})$	$w(\text{Fe})$	$w(\text{V})$	$w(\text{Pb})$
8#	21.19	66.77	6.70	18.49	937.52	3.70	7 505.00	11.50	55.88
12#	23.89	71.67	7.80	18.89	689.62	3.80	7 171.13	10.60	58.58
13#	56.21	81.02	15.40	46.71	1 048.21	3.70	6 506.30	9.60	63.01
14#	36.19	86.28	9.60	25.89	1 141.77	3.90	7 185.56	10.00	69.99
16#	73.70	111.20	19.32	59.91	623.10	5.57	5 479.60	40.30	57.01
18#	36.69	98.68	10.20	31.29	891.82	3.70	7 689.46	11.40	71.79
20#	26.08	72.32	10.45	16.01	903.86	4.99	8 653.48	13.18	44.16
21#	71.18	128.59	26.71	27.56	605.49	5.23	9 236.84	13.02	46.57
22#	61.66	115.10	20.83	25.41	766.63	5.23	12 294.47	16.07	48.39
沿海土壤 ^[5]	18.00	69.90	9.30	32.10	606.00	4.90	34 300.00	42.60	37.60

互花米草的叶、茎、根中富集的金属质量分数, 如表 2 所示. 从表 2 中可知, 互花米草不同部位富集重金属中质量分数最高的是 Fe, 每千克叶、茎、根对 Fe 的富集量分别为 559.5~1 968, 180.65~914.5, 3 534.5~13 585 mg, 平均富集量分别为 1 420.72, 407.62, 8 062.72 mg. 这是因为 Fe 是植物生长所需

表 2 互花米草不同部位富集的重金属质量分数(单位: 10^{-6})

Tab. 2 Heavy metals contents in the leaves, stems and roots of *Spartina alterniflora* (unit: 10^{-6})

样号	部位	$w(\text{Cu})$	$w(\text{Zn})$	$w(\text{Ni})$	$w(\text{Cr})$	$w(\text{Mn})$	$w(\text{Co})$	$w(\text{Fe})$	$w(\text{V})$	$w(\text{Pb})$
8#	叶部	3.75	17.85	1.05	26.25	244.25	0.20	559.50	0.70	0.55
	茎部	2.95	26.35	2.05	29.85	59.65	0.25	180.65	0.05	1.45
	根部	9.50	91.30	11.80	29.35	296.85	11.35	13 585.00	4.35	16.25
12#	叶部	6.70	37.85	2.20	28.10	278.55	0.60	1 986.00	2.95	1.80
	茎部	5.55	53.30	1.95	28.60	109.70	0.25	250.75	0.05	0.25
	根部	5.25	187.25	7.85	29.80	673.50	3.70	8 845.00	4.40	15.20
13#	叶部	10.15	44.80	2.40	32.00	188.10	0.50	1 595.50	2.55	5.15
	茎部	8.40	59.50	2.25	29.15	111.90	0.35	396.30	0.35	1.15
	根部	32.85	171.40	5.85	29.55	161.85	2.50	3 415.50	1.05	6.95

续表

Continue table

样号	部位	w(Cu)	w(Zn)	w(Ni)	w(Cr)	w(Mn)	w(Co)	w(Fe)	w(V)	w(Pb)
14#	叶部	4.40	44.55	1.50	28.00	209.30	0.25	932.50	1.50	0.75
	茎部	11.85	141.75	2.65	28.65	143.65	0.25	308.25	0.30	0.15
	根部	70.55	142.20	8.50	31.90	366.90	2.15	3 534.50	4.90	9.40
16#	叶部	8.45	29.90	1.80	29.80	257.35	0.40	1 411.50	2.10	1.45
	茎部	6.85	30.70	2.05	29.70	109.00	0.20	204.65	0.10	0.00
	根部	64.20	89.20	8.75	36.20	831.00	2.75	11 615.00	6.10	23.15
18#	叶部	8.65	30.55	2.40	34.20	262.75	0.45	1 612.00	2.35	2.95
	茎部	8.00	35.90	3.20	34.90	187.00	0.35	228.95	0.45	1.20
	根部	65.90	94.55	9.95	35.15	789.50	2.95	10 875.00	5.20	24.05
20#	叶部	7.55	46.35	2.20	30.75	239.20	0.35	1 355.50	2.05	2.35
	茎部	6.85	77.25	2.55	30.95	156.95	0.25	481.05	0.35	0.80
	根部	71.25	136.75	9.20	31.00	390.80	1.95	6 201.50	4.75	14.90
21#	叶部	12.80	73.60	3.80	44.95	255.20	0.55	1 476.00	1.95	2.55
	茎部	11.05	133.90	4.25	45.30	262.10	0.40	703.50	0.65	1.05
	根部	112.70	221.75	15.15	45.65	413.15	2.35	6 308.00	4.40	15.25
22#	叶部	9.65	56.60	2.75	34.65	339.10	0.60	1 858.00	2.30	3.20
	茎部	8.55	103.05	3.35	34.65	337.55	0.40	914.50	0.75	1.25
	根部	86.65	156.80	11.45	34.75	587.00	2.20	8 185.00	5.60	17.85

要的元素,其质量分数一般都高于其他金属.富集量最低的重金属是Co,每千克叶、茎、根对Co的富集量分别为0.20~0.60,0.20~0.40,0.20~11.35 mg,平均富集量分别为0.43,0.30,3.54 mg.说明Co被根吸收后,向上运移的能力较弱.金属Cr的富集则比较均一,每千克叶、茎、根中Cr的富集量分别为26.25~44.95,28.60~45.30,29.35~45.65 mg,平均富集量分别为32.08,32.42,33.71 mg.由此可以看出,互花米草的根部对环境重金属的富集量大,富集程度高,说明根部有较强的富集作用.各金属元素被根吸收后,往地上部分的运移能力大小顺序:Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Pb>Ni>V>Co.根的重金属富集量比同株植物的叶、茎要高,Fe, Mn, Co, V, Pb等元素在叶片的富集量也比茎高,说明重金属在互花米草体内发生了迁移.金属元素从沉积物进入根系后,未被输导系统吸附固定的部分随蒸腾液到达叶片,从而使叶部重金属质量分数远比茎部多.

2.2 互花米草不同部位对重金属的富集能力

植物从沉积物中吸收、富集的重金属,可以用富集系数来反映植物对重金属富集程度的高低或富集能力的强弱.富集系数是指植物某一部位的元素质量分数与土壤中相应元素质量分数之比,它在一定程度上反映着沉积物-植物系统中元素迁移的难易程度,说明重金属在植物体内的富集情况^[7].不同重金属在互花米草的叶、茎、根部的富集系数的比较,如表3所示.由表3可知,互花米草不同部位对重金属

表3 互花米草不同部位对重金属富集系数

Tab.3 Heavy metals enrichment factors in the leaves, stems and roots of *Spartina alterniflora*

编号	Cu			Zn			Ni			Cr		
	叶	茎	根	叶	茎	根	叶	茎	根	叶	茎	根
8#	0.18	0.14	0.45	0.27	0.34	1.37	0.16	0.31	1.76	1.42	1.61	1.59
12#	0.28	0.23	0.22	0.53	0.74	2.61	0.28	0.25	1.01	1.49	1.51	1.58
13#	0.18	0.15	0.58	5.53	7.34	21.16	0.16	0.15	0.38	0.69	0.62	0.63
14#	0.12	0.33	1.95	0.52	1.64	1.65	0.16	0.28	0.89	1.08	1.11	1.23
16#	0.11	0.09	0.87	0.27	0.28	0.80	0.09	0.11	0.45	0.50	0.50	0.60
18#	0.24	0.22	1.80	0.31	0.36	0.96	0.24	0.31	0.98	1.09	1.12	1.12
20#	0.29	0.26	2.73	0.64	1.07	1.89	0.21	0.24	0.88	1.92	1.93	1.94
21#	0.18	0.16	1.58	0.57	1.04	1.72	0.14	0.16	0.57	1.63	1.64	1.65
22#	0.16	0.14	1.41	0.49	0.90	1.36	0.13	0.16	0.55	1.36	1.36	1.37

续表
Continue table

编号	Mn			Co			V			Pb		
	叶	茎	根	叶	茎	根	叶	茎	根	叶	茎	根
8#	0.26	0.06	0.32	0.05	0.07	3.07	0.06	0	0.38	0.01	0.03	0.29
12#	0.40	0.16	0.98	0.16	0.07	0.97	0.28	0	0.42	0.03	0	0.26
13#	0.18	0.11	0.15	0.14	0.09	0.68	0.27	0.04	0.11	0.08	0.02	0.11
14#	0.18	0.13	0.32	0.06	0.06	0.55	0.15	0.03	0.49	0.01	0	0.13
16#	0.41	0.17	1.33	0.07	0.04	0.49	0.05	0	0.15	0.03	0	0.41
18#	0.29	0.21	0.89	0.12	0.09	0.80	0.21	0.04	0.46	0.04	0.02	0.34
20#	0.26	0.17	0.43	0.07	0.05	0.39	0.16	0.03	0.36	0.05	0.02	0.34
21#	0.42	0.43	0.68	0.11	0.08	0.45	0.15	0.05	0.34	0.05	0.02	0.33
22#	0.44	0.44	0.77	0.11	0.08	0.42	0.14	0.05	0.35	0.07	0.03	0.37

的富集能力各有不同. 根对 Cu 的富集系数在 0.22~ 2.73 之间, 大部分都大于 1, 而叶和茎对 Cu 的富集系数均小于 0.3. 这说明根对 Cu 的富集能力很强, 可以考虑用互花米草植物固定技术降低沉积物中的 Cu. 根对 Zn 的富集系数大多大于 1, 近半数的植株样品中茎对 Zn 的富集系数大于 1, 说明根和茎都对 Zn 有较强的富集能力. 根对 Ni 的富集系数大多小于 1, 叶、茎对 Ni 的富集系数分别低于 0.31 和 0.24, 这表明互花米草对 Ni 的富集能力较弱.

各株互花米草对 Cr 的富集因地点不同而有所不同, 但叶、茎、根对 Cr 的富集能力基本相同, 富集系数大多大于 1, 说明叶、茎、根对 Cr 均有较强的吸收能力. 互花米草各对 Mn 的富集与 Ni 相似.

根对 Co 的富集系数接近于 1, 而茎和叶的富集系数小于 0.2, 表现出很弱的富集能力. 根对 Fe 的富集系数大多都大于 1, 表现出很强的富集能力, 而叶和茎对 Fe 的富集能力就很弱. 互花米草各部位对 V 和 Pb 的富集系数均低于 0.5, 表现出较弱的富集能力.

研究结果表明, 叶对重金属的富集能力的强弱顺序为: Cr > Zn > Mn > Cu > Fe > Ni > V > Co > Pb; 茎对重金属的富集能力的强弱顺序为: Cr > Zn > Ni > Mn > Cu > Co > Fe > V > Pb; 根对重金属的富集能力的强弱顺序为: Zn > Cr > Cu > Fe > Co > Ni > Mn > V > Pb. 根对 Ni, Mn, Cr, Cu, Fe 的富集系数均大于 1. 叶和茎对 Cr 的富集系数大于或接近 1. 互花米草不同部位对重金属的富集能力也有差别, 对 Cu, Zn, Ni, Cr 的富集是根部 > 茎部 > 叶部; 对 Mn, Co, Fe, V, Pb 的富集是根部 > 叶部 > 茎部. 这是因为互花米草根部直接与沉积物相接触, 根部从沉积物中吸收的重金属滞留在根部的质量分数较大, 从而使根部富集能力最强. 互花米草的叶部和茎部富集能力比根部要弱.

2.3 沉积物 互花米草体系中重金属的迁移特征

根据 9 个互花米草样品不同部位对重金属的富集质量分数的统计分析, 可以看出互花米草的叶、茎、根中重金属质量分数与沉积物中的重金属质量分数均有不同程度的相关性^[8], 如表 4 所示. 表 4 中, $r_{0.01} = 0.798$, $r_{0.05} = 0.666$. 根据表 4 中的相关系数(r)进行如下 5 点分析.

(1) 对 Cu 的积累. $r_{\text{沉积物-叶}} = 0.755^*$, 叶和沉积物对 Cu 的富集呈显著相关, 说明叶从环境中富集 Cu 的行为与沉积物吸收 Cu 的行为显著一致. 由于叶和茎中 Cu 的质量分数相差不大, 它们之间不相关, 叶中的 Cu 可能来自于涨潮时将植株淹没的海水. $r_{\text{根-茎}} = 0.749^*$, 说明了 Cu 在植株的根、茎内有一定的迁移能力, 茎内的 Cu 来源于根部未被输导系统固定的 Cu.

(2) 对 Zn 的积累. $r_{\text{茎-叶}} = 0.819^{**}$, $r_{\text{根-叶}} = 0.831^{**}$, 即茎和叶对 Zn 的富集呈极显著相关, 根和叶对 Zn 的富集呈极显著相关. 说明了 Zn 在植株的茎和叶之间有很强的迁移能力, 根中 Zn 的质量分数越大, 则由植物的蒸腾作用进入到叶内的 Zn 就越大, 而茎对 Zn 的固定作用不强.

(3) 对 Ni 的积累. $r_{\text{茎-叶}} = 0.809^{**}$, $r_{\text{根-茎}} = 0.740^*$, 即茎与叶中 Ni 的质量分数呈极显著相关, 说明 Ni 从根向茎的迁移及茎向叶的迁移作用均很强. $r_{\text{沉积物-茎}} = 0.672^*$, $r_{\text{沉积物-叶}} = 0.766^*$, 说明茎和叶内 Ni 的质量分数均与沉积物中 Ni 的质量分数呈显著相关, 这说明除了迁移作用带入的 Ni 外, 茎和叶直接从海水中吸收了一定的 Ni.

(4) 对 Cr 的积累. $r_{\text{茎-叶}} = 0.956^{**}$, $r_{\text{根-叶}} = 0.890^{**}$, $r_{\text{根-茎}} = 0.911^{**}$, 这说明 Cr 从根到茎和从茎到

表4 互花米草与沉积物中的重金属相关系数

Tab. 4 Correlation coefficients of heavy metals contents among the leaves, stems, roots in *Spartina alterniflora* and the sediments

Cu	叶	茎	根	沉积物	Zn	叶	茎	根	沉积物
叶	1.000				叶	1.000			
茎	0.446	1.000			茎	0.819 [*]	1.000		
根	0.609	0.749 [*]	1.000		根	0.831 [*]	0.641	1.000	
沉积物	0.755 [*]	0.493	0.622	1.000	沉积物	0.337	0.330	0.002	1.000
Ni	叶	茎	根	沉积物	Cr	叶	茎	根	沉积物
叶	1.000				叶	1.000			
茎	0.809 [*]	1.000			茎	0.956 [*]	1.000		
根	0.458	0.740 [*]	1.000		根	0.890 [*]	0.911	1.000	
沉积物	0.766 [*]	0.672 [*]	0.494	1.000	沉积物	0.057	-0.106	0.187	1.000
Mn	叶	茎	根	沉积物	Co	叶	茎	根	沉积物
叶	1.000				叶	1.000			
茎	0.642	1.000			茎	0.600	1.000		
根	0.599	0.175	1.000		根	-0.526	-0.283	1.000	
沉积物	-0.618	-0.324	-0.598	1.000	沉积物	0.26	0.083	-0.402	1.000
Fe	叶	茎	根	沉积物	V	叶	茎	根	沉积物
叶	1.000				叶	1.000			
茎	0.397	1.000			茎	0.192	1.000		
根	-0.186	-0.377	1.000		根	-0.170	0.048	1.000	
沉积物	0.283	0.885 [*]	-0.098	1.000	沉积物	0.029	-0.218	0.510	1.000
Pb	叶	茎	根	沉积物					
叶	1.000								
茎	0.419	1.000							
根	-0.24	-0.005	1.000						
沉积物	-0.029	-0.201	-0.037	1.000					

叶的迁移能力相近,也从侧面说明根、茎、叶对 Cr 的富集能力相同。

(5) 对 Fe 的积累, $r_{\text{沉积物茎}} = 0.885^*$, 说明沉积物和茎均从海水中吸收了一定量的 Fe. 对于其他重金属, 叶、茎、根和沉积物中的重金属质量分数均无明显的相关关系。

从以上相关系数的分析说明, 互花米草不同部位富集的重金属质量分数不全是从沉积物中富集得到的. 除了由于植物的蒸腾作用而使一定量的重金属发生迁移, 另一部分则是来源于叶、茎部自身单独吸收环境中的重金属. 重金属在互花米草中的迁移能力, 促进重金属在沉积物中的沉积和固定。

2.4 互花米草对重金属富集总量的分析

单株互花米草的地上部分(包括叶、茎)质量为 10.27~28.48 g, 占植株总质量 82.79%~93.98%. 地上部分和植株对重金属富集的量 m_a, m_t , 如表 5 所示. 从表 5 中可看出, 单株互花米草富集的重金属总量较大, 如果将整株互花米草进行收割, 则能去除研究区内重金属的质量分数, 从而降低水体中重金属污染的程度. 但互花米草的根系相互盘结在一起, 有的根系深度较大, 很难将其拔起, 势必增加收割根的难度. 地上部分对重金属的富集量占单株的百分比在 43.45% 以上, 有的高达 89.43%, 所以收割地上部分对降低周围环境中重金属的总量仍然具有很大的意义。

表5 单株互花米草及其地上部分富集重金属的比较

Tab. 5 The contents comparison of heavy metals in an individual *Spartina alterniflora* and in the over ground part of *Spartina alterniflora*

重金属	Cu	Zn	Ni	Cr	Mn	Co	Fe	V	Pb
$m_a/\mu\text{g}$	177.82	1351.10	56.40	747.87	4722.55	7.71	17943.85	22.39	30.26
$m_t/\mu\text{g}$	343.77	1705.30	83.30	836.28	6179.54	17.25	41296.79	35.69	76.81

研究区内, 群落生物量极高, 茎叶生长茂密, 根系异常发达. 赵大昌等^[9] 研究得到, 海岸带互花米草地上部分干质量可达 $1.33 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 地下部分的干质量可达 $7.21 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. 若研究区内互花米草的生

物量以此计算,则得到单位面积的互花米草地上部分富集 Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Co, Fe, V 的量分别为 14.256, 32.054, 11.298, 27.055, 144.518, 10.395, 726.163, 11.214 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$.

互花米草的生物量比一般的植物大,所以富集的重金属总量也相当大.互花米草富集重金属达到一定程度后,将互花米草地上部分收割,可以减少其生长环境的重金属质量分数.而且,互花米草是多年生的植物,收割后生长速度很高,在生长的同时又会不停的富集重金属.

3 结束语

通过对自然条件下互花米草成熟植株的不同部位,以及其生长所在地沉积物的重金属富集程度研究,确定互花米草对金属的富集行为.(1)互花米草的叶、茎、根富集一定量的 Cu, Zn, Ni, Mn, Co, Fe, V, Pb, Cr 等重金属元素.泉州湾滩涂沉积物有一定程度的 Cu, Pb, Mn 污染.互花米草植株体内有一定程度的重金属污染,不再具有原来的经济价值.(2)互花米草植株的根对 Mn, Cr, Cu, Fe, Ni 的富集系数大于或接近 1.重金属元素共存能促进重金属的吸收,降低环境中重金属的质量分数.单株互花米草富集的重金属总量较大,互花米草的生物量大,通过收割富集重金属的互花米草地上部分,可以有效地降低互花米草生长环境中水体或沉积物的重金属质量分数.

参考文献:

- [1] 仲维畅.大米草与互花米草的种植功效的利弊[J].科技导报,2006,24(10):73-75
- [2] 张建国.大米草价值何在——种植互花米草效益巨大[N].中国海洋报,2000-08-15(4).
- [3] 王文卿,郑文教,林鹏.九龙江口红树植物叶片重金属元素质量分数及动态[J].台湾海峡,1997,16(2):234-235.
- [4] 田吉林,诸海燕,杨玉爱.互花米草对有机汞耐受性、吸附、转化[J].植物生理与分子生物学报,2004,30(5):577-582.
- [5] 陆书玉.环境影响评价[M].北京:高等教育出版社,2001:161.
- [6] 张西科,张福生,毛达如.植物镉中毒研究进展[J].土壤学进展,1994,22(5):12-21.
- [7] 蒋先军,骆永明,赵其国,等.重金属污染土壤的植物修复研究I——金属富集植物 *Brassica juncea* 对铜,锌,铅,镉污染的响应[J].土壤,2000(2):71-74.
- [8] 杨远.主要重金属在水稻土——水稻、小麦籽粒中的分布与聚集特征研究[D].成都:四川农业大学,2005:29-34.
- [9] 赵大昌,刘勋,陈树培,等.中国海岸带植被[M].北京:海洋出版社,1996:214-221.

The Study on Heavy Metal Contents and Enrichment in *Spartina anglica* in Quanzhou Bay

HU Gong-ren, YU Rui-lian

(College of Material Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: The concentrations of heavy metals in the sediments and *Spartina anglica* developing in the Quanzhou Bay were analysed by using ICP-AES. The extent and ability to different heavy metals' enrichment in the leaves, stems and roots were investigated. The effect of mutual metals on the enrichment of other metal was analyzed simultaneously. The result showed that metals such as Cu, Zn, Ni, Mn, Co, Fe, V, Pb, Cr were detected in the leaves, stems and roots. The beach of Quanzhou Bay was polluted by Cu, Pb, Zn, Cr to some extent, and the *Spartina anglica* plant was also contaminated by heavy metals, not worth of its original economic value. The enrichment coefficient were larger than or near to 1 for roots adsorbing metals such as Mn, Cr, Cu, Fe and Ni. The coexistence of some heavy metals could enhance the enrichment of other metals in the plant or sediments, and reduce the total quantity of metals in the environment. The quantity of heavy metal enrichment in an individual *Spartina anglica* was significant. Harvesting the over ground part of *Spartina anglica* could decrease the total quantity of heavy metals in the Quanzhou Bay to a great extent.

Keywords: *Spartina anglica*; Quanzhou Bay; tidal flat sediment; heavy metal; enrichment

(责任编辑:黄仲一 英文审校:陈国华)