

泉州湾若干海岸植物铜、锌、铅及氮、磷、钾元素分布特征^{*}

李裕红^{1,2} 袁建军² 陈怀宇² 肖秋霞²

(1. 厦门大学环境科学研究中心 厦门 361005, 2. 泉州师范学院生物系 泉州 362000)

摘要 为了解泉州湾海岸带植物重金属及营养元素分布情况,研究了泉州湾海岸带常见植物桐花树、芦苇、空心莲子草、落葵、中华补血草、藜、莲子草、龙葵等的根、茎、叶等器官及其栖息土壤中的 Cu、Zn、Pb及 N、P、K 含量分布特点。结果表明:泉州湾常见植物的生境土壤中,不存在 Cu 污染,但都受中度以上的 Zn、Pb 污染,且 Zn 与 Pb 污染呈显著正相关关系。泉州湾海岸植物栖息土壤中 K 含量较高。相对而言,空心莲子草、莲子草、龙葵、芦苇对 Cu、Zn、Pb 耐性高、累积能力强,属于有环境修复潜力的植物,可作为对重金属污染环境的绿色修复材料考虑。藜的根、茎、叶中具高含量的 K 元素,对土壤中的 K 具有较高的吸收和迁移能力。落葵、莲子草、芦苇、藜的叶中 N 含量较高,落葵和莲子草叶则表现低 P 含量,高 N/P 比值。本试验研究的泉州湾自然生境若干海岸植物对 Cu、Zn、Pb 的累积与其 N、P、K 营养元素含量之间未表现显著的相关性。

关键词 泉州湾 海岸植物 Cu、Zn、Pb N、P、K 环境修复

中图分类号: Q48.116 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2008)03-0630-05

The distribution characteristics of Cu, Zn, Pb and N, P, K in several plants on coast of Quanzhou Bay

LI Yuhong², YUAN Jianjun², CHEN Huaiyu², XIAO Qiuxia²

(1. Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China
2. Department of Biology, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, China)

Abstract To investigate the distribution of heavy metals and nutrient elements in plants along Quanzhou Bay, the distribution characteristics of Cu, Zn, Pb and N, P, K in *Aegiceras comiculatum*, *Phragmites australis*, *Alternanthera philoxeroides*, *Basella rubra*, *Alternanthera sessilis*, *Solanum nigrum*, *Limonium spense* and *Chenopodium album* as well as related soils were analyzed. The results show that soils inhabited by these plants do not have Cu contamination, but do have moderate to strong Zn and Pb contamination with positive correlation between Pb and Zn concentration in soils and plants. Among the nutrient elements, soil K content along Quanzhou Bay is highest. Bioaccumulation ability of *A. philoxeroides*, *A. sessilis*, *S. nigrum* and *P. australis* are stronger than the other plants, and with good phytoremediation potential of heavy metal contaminated soils. Calcium K absorption and transfer ability is significant, and the root-stem and leaf concentration of K is highest among the plants. Leaf nitrogen content of *B. rubra*, *A. sessilis*, *P. australis* and *C. album* is higher, while leaf phosphorus content of *B. rubra* and *A. sessilis* is much lower with extremely high N/P ratio. There is no significant correlation between N, P, K and Cu, Zn and Pb concentration of the plants under natural condition along Quanzhou Bay.

Key words Quanzhou Bay, Coastal plant, Cu, Zn, Pb, N, P, K, Phytoremediation

(Received Jan 25, 2007; accepted May 27, 2007)

泉州湾位于福建省东南部,北纬 24°47'~24°58',东经 118°38'~118°52',外连台湾海峡,内连晋江、洛阳江,是晋江和洛阳江的出海口。泉州湾海岸线曲折,海湾总面积 128.18 km²,岸线长 18 km,为半开敞性海湾^[1]。随着晋江和洛阳江流域的开

发、两岸城镇以及泉州市区工农业的发展,尤其是蓄电池、电镀、电子以及漂染、制革化工等行业的增多,泉州湾海岸带重金属污染情况越来越严重。由于重金属污染物毒性强、污染性质复杂、不能被微生物降解等特点使得重金属对动植物和人类健康

国家自然科学基金重点项目(30530150)、福建省青年科技人才创新项目(2004J053)、福建省教育厅资助项目(JA02251)和泉州市科技项目(2003Z11)资助

李裕红(1969~),女,博士,副教授,主要研究方向为污染生态学。E-mail: llyuhong94@163.com

收稿日期:2007-01-25 接受日期:2007-05-27

危害极大。对重金属或 N R K等营养元素在生物体的分布特点及其交互关系, 国内外已做了许多研究^[2,3], 有关泉州湾海岸带生物体重金属与营养元素分布的研究尚少见报道。本文研究了泉州湾常见海岸植物生境土壤及植株对重金属 Cu Zn Pb的累积及 N R K的含量特点, 探讨这些植物对重金属的富集潜力, 并初步讨论自然生境下植物重金属元素的累积与其营养元素之间的关系, 旨在为泉州湾海岸生态系统的污染治理和科学管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

试验材料均于 2005年 11月采自泉州湾海岸区域包括洛阳屿头和丰泽浔浦的湿地及沿岸。随机采集的样品包括屿头的桐花树 (*Aegiceras coniculatum*)、芦苇 (*Phragmites australis*)、空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*)、落葵 (*Basella rubra*)、莲子草 (*Alternanthera sessilis*)、龙葵 (*Solanum nigrum*)以及浔浦的中华补血草 (*Limonium sinense*)和藜 (*Chenopodium album*)及其各自相应栖息生境的土样。

1.2 样品处理及测定方法

植物样品先用清水清洗, 后用蒸馏水冲洗 5遍, 根、茎、叶分开。植物样品和土样均在 60℃下烘干, 用玻璃研钵研磨成粉, 植物样过 40目尼龙筛, 土样过 100目尼龙筛, 消化前再烘干至恒重。

重金属含量测定植物样品用 HNO₃-HCl消化, 土样用 HNO₃-HCl-HF消化, 用 AA-6800 原子吸收分光光度计 (日本 SHIMADZU)测定样品的 Cu Zn

和 Pb含量。采用凯氏定氮法测全氮, 钼锑抗比色法测全磷, 火焰光度计法测全钾^[4]。

1.3 指数计算

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 B_n} \right) \quad (1)$$

式中, C_n为样品中元素 n的浓度; B_n为地球化学背景浓度 (根据泉州湾海岸母岩特点 B_n值选用普通页岩平均值); 1.5为常数, 是考虑到由于成岩作用可能会引起背景值的变动。地质累积指数常分为 7个级别, 0~5级表示污染程度由无到极强, 最高一级 (6级) 的元素含量可能是背景值的几百倍^[5]。

生物累积指数 (Bioaccumulation Factor, BAF)^[6]:

$$BAF = \frac{M_{植物}}{M_{土壤}} \quad (2)$$

式中, M_{植物} 为重金属元素在植物器官中的浓度含量, M_{土壤} 为重金属元素在土壤中的浓度含量。

2 结果与分析

2.1 泉州湾海岸植物生境土壤 Cu Zn Pb及 N R K的含量分布

由表 1可知泉州湾海岸植物生境土壤中 Cu Zn Pb的分布情况。样品土壤 Cu元素含量范围为 16.5~34.8 g kg⁻¹, Zn为 239~2572 g kg⁻¹, Pb为 125~487 g kg⁻¹。Cu元素浓度均低于地球化学背景浓度^[7], 不体现污染情况; 而 Zn和 Pb元素含量均远高于背景浓度, 体现出不同程度的受污染情况。相比之下, 落葵、龙葵、芦苇的生境土壤受 Zn Pb污染情况较严重。从土壤样品中 Cu Zn Pb浓度差异之大可了解到泉州湾海岸带重金属污染存在

表 1 泉州湾海岸植物生境土壤 Cu Zn Pb含量及污染状况

Tab 1 Cu Zn Pb concentrations and their pollutions in soils inhabited by plants on coast of Quanzhou Bay

植物生境土壤 Soil inhabited by plants	Cu含量 Cu content	I _{geo} 等级 I _{geo} grade	Zn含量 Zn content	I _{geo} 等级 I _{geo} grade	Pb含量 Pb content	I _{geo} 等级 I _{geo} grade
桐花树土 BY <i>Aegiceras coniculatum</i>	24.8	0	239	1	125	2.1/3
芦苇土 BY <i>Phragmites australis</i>	34.8	0	817	3	487	4.0/4
空心莲子草土 BY <i>Alternanthera philoxeroides</i>	22.7	0	249	0.8/1	145	2.3/3
落葵土 BY <i>Basella rubra</i>	31.8	0	2572	4.2/5	437	3.9/4
中华补血草土 BY <i>Limonium sinense</i>	28.3	0	267	0.9/1	145	2.3/3
藜土 BY <i>Chenopodium album</i>	31.4	0	721	2.8/3	234	3.0/3
莲子草土 BY <i>Alternanthera sessilis</i>	31.3	0	281	1.0/1	154	2.4/3
龙葵土 BY <i>Solanum nigrum</i>	16.5	0	769	3.1/4	360	3.6/4
背景浓度 Background values	45.0		95		20	

较高的地域差异性,也可能体现泉州湾重金属 Zn Pb污染属于点源污染类型。对各种植物生境土壤 Cu Zn Pb含量的相关关系分析表明, Zn和 Pb污染存在显著正相关关系(相关系数达 0.976 $P < 0.05$),即通常 Zn污染严重的地段 Pb污染亦较严重。

地质累积指数是广泛用于研究沉积物及其他物质中重金属污染程度的定量指数^[3]。由表 1可知,泉州湾海岸带土壤 Cu的 I_{geo}等级均为 0 不存在 Cu污染;而在 8 个样地土壤中 Zn的 I_{geo}等级分布有 1、3、4、5 级,表明在这些样地里存在 Zn中度污染、强污染以及极强污染;Pb的 I_{geo}等级则处于 3 级和 4 级,表明 Pb污染一般都达到中度污染到强污染状态。本结果的 Cu Zn Pb污染情况与 L^[8]的研究结果一致,但 Zn Pb污染强度有加重趋势。

土壤 N P K是植物生长的重要营养元素来源。由表 2可知,泉州湾海岸常见植物生境土壤 N含量

表 2 泉州湾海岸植物生境土壤的大量营养元素分布
Tab. 2 Mass nutrition element concentrations of soils inhabited by plants on coast of Quanzhou Bay

	g kg ⁻¹		
植物生境土壤 Soil inhabited by plants	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K
桐花树土 BY <i>Aegiceas corniculatum</i>	1.26	0.845	26.28
芦苇土 BY <i>Phragmites australis</i>	2.40	1.931	29.01
空心莲子草土 BY <i>Alternanthera philoxeroides</i>	2.33	0.802	17.25
落葵土 BY <i>Basella rubra</i>	2.42	0.850	15.21
中华补血草土 BY <i>Limonium sinense</i>	1.20	1.426	50.83
藜土 BY <i>Chenopodium album</i>	2.29	2.096	11.48
莲子草土 BY <i>Alternanthera sessilis</i>	1.06	1.414	30.15
龙葵土 BY <i>Solanum nigrum</i>	2.06	0.737	8.33

范围为 1.06~2.42 g kg⁻¹; P含量处于 0.737~2.096 g kg⁻¹; K含量较高,处于 8.33~50.38 g kg⁻¹,平均达 23.56 g kg⁻¹。K进入植物均以离子形式存在,可利用的 K含量高,则利于栖息植物获得 K可增强植物保水性及抗旱等抗逆性。N/P比值相对较高的依次是空心莲子草、落葵及龙葵的生境土壤。统计分析表明,在所研究的土壤样品中, Cu Zn Pb含量与 N P K含量之间无显著相关性,这是因为泉州湾局部海岸的重金属污染主要由人为活动所引起。这与陈怀满等^[9]研究尾矿复土中重金属浓度与土壤性质间并无显著相关性的推论一至。

2.2 泉州湾常见海岸植物根、茎、叶对 Cu Zn Pb的累积

Cu与 Zn都是植物正常生长发育和代谢所必需的微量元素,是体内某些酶的重要成分,但这些元素在生物体内的摄入量超过一定范围就会表现出毒性。由重金属的生物累积指数值比较所测定的 8 种常见植物根、茎、叶中 Cu的分布情况(表 3),莲子草的根、空心莲子草的茎、龙葵的叶对 Cu的累积能力较高。叶对 Cu的累积能力由大到小依次为:龙葵>空心莲子草>莲子草>芦苇>落葵>桐花树>藜>中华补血草。龙葵叶对 Cu的累积远高于根和茎,其生物累积指数值达 0.685 表明 Cu在龙葵体内迁移速度快,叶是龙葵累积 Cu的重要库。

在所研究的植物中,空心莲子、莲子草、中华补血草的根、茎、叶对 Zn的累积能力均位居前列。落葵栖息的土壤受极强烈的 Zn污染,但落葵对 Zn的累积指数不到 0.08 含量介于 50~65 g kg⁻¹。莲子草和空心莲子草的根与茎及芦苇、龙葵、藜的叶含 Zn量超过 100 g kg⁻¹,推测植物对 Cu Zn的迁移和累积主要取决于植物本身不同的生理机制。

Pb是植物的非必需元素,虽然样地 Pb污染处于中度污染到强污染状态,但所研究植物对 Pb均表现较低的累积水平。相比之下,莲子草、龙葵、空心莲子草的根茎叶均表现出对 Pb较强的累积能力;芦苇叶对 Pb的累积能力为其根茎累积能力的两倍,从表 1可知芦苇的生境土壤中 Pb含量最高, I_{geo}达到 4 级水平,说明当土壤中较高浓度 Pb存在时,大量积累在根部的 Pb向地上部位转移,以减轻 Pb对根部的危害,此时集中收获植株地上部分,可移出土壤中过多的有效铅,故此类植物对重金属污染土壤的修复具有一定应用前景^[10]。植物在不同时期及其不同部分对 Pb吸收的迁移和累积效应不同。郑春荣等^[11]指出,植株地上部分 Pb浓度往往高于根中 Pb浓度。而毕春娟等^[12]研究 Pb等重金属在芦苇和海三棱中的季节变化动态时表明,植株重金属含量一般根部大于茎叶部分。本研究涉及的 8 种植物的根茎叶对 Pb的累积和耐受性并未表现出一致性,可能与栖息环境的污染状况、Pb元素的特性及各植物生物学特性的差异性有关。

通过试验比较发现,空心莲子草、莲子草、龙葵、芦苇对 Cu Zn Pb耐性高、累积能力较强,属于有环境修复潜力的植物。若将莲子草、龙葵、空心莲子草、芦苇这些有潜力的植物人工驯化栽培,魏树和等^[13]认为在盆栽条件下通过浓度梯度试验等是可以显著提高植物对重金属的吸收富集能力,上述植物可作为对重金属污染环境的修复材料考虑。

表 3 泉州湾海岸植物对 Cu Zn Pb的富集量及富集系数
Tab 3 Accumulation of Cu Zn Pb by plants on coast of Quanzhou Bay

植物种 Species	元素 Element	根 Root		茎 Stem		叶 Leaf	
		富集量	富集系数	富集量	富集系数	富集量	富集系数
		Bi accumulation content (g kg ⁻¹)	Factor	Bi accumulation content (g kg ⁻¹)	Factor	Bi accumulation content (g kg ⁻¹)	Factor
桐花树 <i>Aegiceas comiculatum</i>	Cu	4.81	0.195	6.27	0.254	4.35	0.176
	Zn	47.60	0.199	29.25	0.122	42.40	0.177
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	Pb	3.49	0.027	3.26	0.026	2.24	0.018
	Cu	3.51	0.101	3.26	0.094	7.78	0.224
空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	Zn	82.30	0.101	65.60	0.080	142.00	0.174
	Pb	5.38	0.011	4.93	0.010	11.70	0.024
落葵 <i>Basella rubra</i>	Cu	5.86	0.258	10.45	0.460	8.79	0.387
	Zn	140.00	0.562	111.00	0.446	78.70	0.316
中华补血草 <i>Limonium sinense</i>	Pb	8.83	0.061	7.77	0.054	3.75	0.026
	Cu	3.36	0.106	2.59	0.081	5.73	0.180
藜 <i>Chenopodium album</i>	Zn	51.30	0.063	53.50	0.065	64.50	0.079
	Pb	2.16	0.005	8.09	0.019	9.71	0.022
莲子草 <i>Alternanthera sessilis</i>	Cu	2.31	0.082	—	—	1.51	0.053
	Zn	55.00	0.206	—	—	63.30	0.237
龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	Pb	3.62	0.025	—	—	3.26	0.022
	Cu	2.72	0.087	1.42	0.045	2.02	0.064
藜 <i>Chenopodium album</i>	Zn	92.60	0.128	88.40	0.122	105.00	0.145
	Pb	9.67	0.041	5.42	0.023	4.28	0.018
莲子草 <i>Alternanthera sessilis</i>	Cu	16.70	0.534	12.10	0.387	8.05	0.257
	Zn	134.00	0.477	147.00	0.523	91.90	0.327
龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	Pb	10.76	0.070	6.40	0.042	5.37	0.035
	Cu	3.38	0.205	3.12	0.189	11.30	0.685
龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	Zn	59.60	0.078	69.90	0.091	139.00	0.181
	Pb	9.97	0.028	8.22	0.023	12.10	0.034

2.3 泉州湾海岸植物根、茎、叶的 N P K含量
由表 4可知, 所研究植物大多表现为 K含量较

高。藜的根、茎、叶中 K含量均表现为最高水平, 龙葵、莲子草、空心莲子草的茎叶含 K量也较高。K供

表 4 泉州湾海岸植物根、茎、叶的 N P K含量
Tab 4 Mass nutrition element concentrations of plants on coast of Quanzhou Bay (g kg⁻¹)

植物种 Species	Root			Stem			Leaf		
	Total N	Total P	Total K	Total N	Total P	Total K	Total N	Total P	Total K
桐花树 <i>Aegiceas comiculatum</i>	0.532	0.183	1.967	2.495	0.328	1.944	1.382	0.246	0.882
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	1.350	0.117	1.340	1.734	0.453	3.524	3.961	0.525	3.631
空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	1.623	0.349	3.364	2.282	0.515	8.121	2.280	0.864	7.907
落葵 <i>Basella rubra</i>	1.917	0.282	3.664	1.812	0.245	4.742	5.143	0.121	8.527
中华补血草 <i>Limonium sinense</i>	2.287	0.256	1.920	—	—	—	3.313	0.569	5.073
藜 <i>Chenopodium album</i>	1.568	1.486	6.252	2.710	1.590	13.180	3.878	0.954	12.470
莲子草 <i>Alternanthera sessilis</i>	1.147	0.418	1.437	2.107	0.585	8.384	5.127	0.131	4.125
龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	1.860	0.406	3.933	2.380	0.706	9.504	3.929	0.641	3.676

应充足有利于植物有效利用和保持水分,

; K

, K

、 K

、 K

、 N

N P

N

N

N/P

、 N/P

、 N/P

6.80

N/P

和 39.1

P

N P K

Cu Zn Pb

N P K

^[14]

N P K

3

8个植物生境土壤试验样点均存在

Zn Pb

Zn

Pb

Zn Pb

K

Cu Zn Pb

N P K

Cu

>

>

>

>

>

Cu

0.685;

Zn

Pb

Pb

Pb

Pb

Pb

Cu Zn Pb

[1] [M]. : , 2004

[2] Alina K P, Henry K P Trace Elements in Soil and Plants[M]. London: CRC Press, 1996: 67-291

[3] Robson A D, Pimani M G Interaction of nutrients in higher plants[M] // Lauchli A Inorganic Nutrition in Plants , : , 1992: 91-102

[4] [M]. : , 2000

[5] Miller G Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geojournal 1969 2: 108-118

[6] Lucma S N, Bryan G W Heavy metal bioavailability: Modeling chemical and biological interactions in sediment bound zinc[M] // Jenne E A Chemical Modeling in Aqueous Systems ACS Symposium Series 93 Washington DC: American Chemical Society 1979: 577-604

[7] [M]. : , 1986: 1-377

[8] Li Yuhong, Yan Chongling, Yuan Jianjun et al Partitioning of heavy metals in the surface sediments of Quanzhou Bay wetland and its availability to *Suaeda australis* [J]. Journal of Environmental Science, 2006, 18(2): 334-340

[9] [J]. , 2000 7(2000年北京国际土地复垦学术研讨会专辑): 30-32

[10] [J]. , 2006 14(4): 131-133

[11] [M] // . - , 1996: 210-250

[12] [J]. , 2003 22(5): 6-9

[13] [J]. , 2003 13(12): 1259-1265

[14] [J]. , 2002 11(4): 392-396