

深圳福田白骨壤红树林 Cu, Pb, Zn, Cd 的累积及分布*

郑文教 林 鹏

(厦门大学环境科学研究中心, 厦门 361005)

提要 于1994年3月, 采用样方法分析、探讨深圳福田自然保护区车公庙林区白骨壤红树林重金属 Cu, Pb, Zn, Cd 元素的累积及分布。结果表明: 该林地表层土壤(0—30cm 深). Cu, Pb, Zn, Cd 的含量分别为 38.3, 28.7, 114.0, 0.136×10^{-6} , 储量分别为 5285.40, 3960.60, 15732.00, 18.77mg /m²。植物体各部位 Cu, Pb, Zn, Cd 含量范围分别为 1.81—13.8, 0.402—3.51, 3.42—69.5, $0.013—0.295 \times 10^{-6}$ 对表层土壤加权平均富集系数为 Cd>Zn>Cu>Pb。该群落 Cu, Pb, Zn, Cd 现存累积量分别为 53.70, 19.27, 187.89, 0.72mg /m²; 年净存留累积量分别为 4063.91, 1318.14, 16358.62, 60.21 μ g /m²; 林地残留物相应元素的储量分别为 2091.18, 1958.66, 5046.60, 19.30 μ g /m²。该林区不同群落叶层 Cu, Pb, Zn, Cd 现存累积量为白骨壤林 > 桐花树林 > 秋茄林。

关键词 红树林 重金属元素 深圳福田

红树林是热带、亚热带海岸潮间带的木本植物群, 是一项珍贵的生物资源, 在河口生态系统中占有十分重要的地位(林鹏, 1984; 林鹏等, 1991; 郑文教等, 1995; 郑逢中等, 1992; Teas, 1979; Tripp et al., 1976)。本工作选择位于深圳福田红树林保护区管理处车公庙观鸟亭林区典型的红树群落, 进行重金属的累积及分布研究, 为红树林生态系统的保护和管理, 提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样地概况及群落特征 车公庙观鸟亭红树林林区林带宽 120m, 中潮滩为白骨壤 (*Avicennia marina*) 纯林, 周缘为秋茄 (*Kandelia candel*) 林和桐花树 (*Aegiceras corniculatum*) 林分布。样地是中潮滩的白骨壤纯林。林冠高 6.5—7.0m, LAI 4.53, 郁闭度 0.9, 平均胸径 9.2cm, 平均树龄 56 年, 平均密度 0.16 株 /m², 树木分布均匀, 林相整齐、灰绿色。林地受潮汐周期淹没, 淤泥深厚, 土壤无结构, 表土含盐量 14.5, pH=5.3(表 1)。

1.2 材料 1994 年 3 月在白骨壤林地, 采用样方法计算种群密度, 逐株测定树高和胸径, 选择标准木两株进行树干解析(林鹏等, 1986); 挖取 2 个 1×2m² 的地下根系,

* 国家自然科学基金资助项目, 39370147 号。郑文教, 男, 出生于 1958 年 11 月, 副教授。

参加野外工作的还有李振基、杨志伟、胡宏友和林益民同志, 野外工作还得到福田自然保护区有关同志的大力支持, 谨志谢忱。

收稿日期: 1995 年 4 月 29 日, 接受日期: 1996 年 1 月 22 日。

表1 白骨壤林地土壤的理化特性

Tab. 1 Physical and chemical feature of soil in *Avicennia marina* community

土壤深(cm)	pH	盐度	容重(g/cm ³)
表层(0—30)	5.30	14.48	0.460
中层(30—60)	6.58	18.21	0.618
底层(60—90)	7.14	19.28	0.640

挖至深达 100cm 基本无根为止。计算生物量和生长量。并分别按叶、花、幼枝(一年生枝)、多年生枝、枯枝、树干材、树干皮、地上呼吸根、大根($d \geq 2\text{cm}$)、中根(包括榄状根, $2 > d > 0.2\text{cm}$)、细根($d \leq 0.2\text{cm}$)和小苗等组分计量。同时采用样方法测定林地残留物量和白骨壤林周缘茄苳林和桐花树林叶生物量。以上各项分别取样测定含水量和样品分析样。分析样于 105℃ 杀青 15min, 60℃ 烘干。土壤按分层采样法, 分别采集土壤深 0—30, 30—60 和 60—90cm 土样, 60℃ 烘干。

1.3 分析方法 各样品烘干后, 玛瑙研钵磨粉过 100 号尼龙筛。样品经 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_3$ 消化后, 用 WFX-1B 型原子吸收分光光度计测定 Cu, Pb, Zn, Cd 含量(其中 Zn 用火焰法, 其余用石墨炉法)。土壤盐度采用 AgNO_3 滴定法, 土壤 pH 用电位法, 水土比为 5:1(中国科学院南京土壤研究所, 1978)。

2 结果与讨论

2.1 白骨壤植物各部位 Cu, Pb, Zn, Cd 元素含量 白骨壤植物体各部位的 Cu, Pb, Zn, Cd 含量范围, 分别为 1.81—13.8, 0.402—3.51, 3.42—69.5, $0.013\text{—}0.295 \times 10^{-6}$ (见图 1); 加权平均含量分别为 3.24, 1.16, 11.4, 0.044×10^{-6} , 大小依次为 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$; 各部位含量大小顺序为:

Cu: 细根 > 花 > 叶 \approx 幼枝 \approx 树干皮 \approx 呼吸根 > 中根 > 多年生枝 > 枯枝 > 大根 > 树干材

Pb: 细根 > 中根 > 树干皮 \approx 呼吸根 > 叶 \approx 花 > 枯枝 > 幼枝 > 多年生枝 > 大根 \approx 树干材

Zn: 细根 > 幼枝 > 花 \approx 呼吸根 > 叶 \approx 树干皮 > 中根 > 枯枝 > 多年生枝 > 大根 > 树干材

Cd: 细根 > 叶 > 花 > 幼枝 > 树干皮 > 中根 > 呼吸根 > 枯枝 > 大根 > 多年生枝 > 树干材

这一排序表明, 白骨壤植物不同部位 Cu, Pb, Zn, Cd 含量大都有明显的差异, 此 4 种元素最大的累积部位均是细根。其次为 Cu, 花; Pb, 中根、呼吸根和树干皮; Zn, 叶、花、幼枝、树干皮和呼吸根; Cu, 叶和花。而树干材 4 种元素含量均最低(分别仅是细根的 13.1%, 11.5%, 4.9% 和 4.3%), 大根和多年生枝的含量也明显较低。细根是植物的主要吸收器官, 元素含量显著高于其他部位(其他重金属元素 Cr, Ni, Mn 亦相似, 待发表), 这表明细根吸收重金属可能大部分仍停留在根的外皮层之外; 而树干材、大根和多年生枝元素含量较低, 可能与组分含机械成分较高不易累积元素有关。

2.2 样地土壤 Cu, Pb, Zn, Cd 元素含量及储量 样地不同层次土壤 Cu, Pb, Zn, Cd

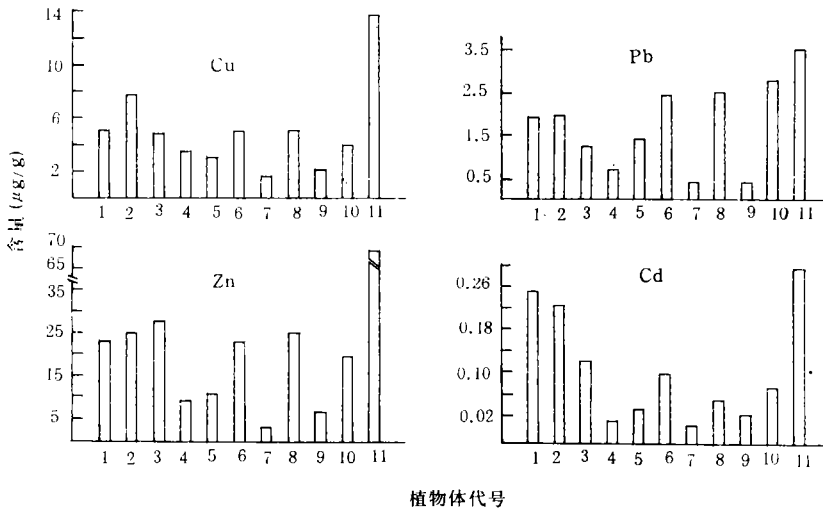


图 1 Cu, Pb, Zn, Cd 元素在白骨壤植物体不同部位中的含量(× 10⁻⁶)

Fig.1 Content of Cu, Pb, Zn and Cd elements in different parts of *Aicennia marina* (× 10⁻⁶)

- 1. 叶; 2. 花; 3. 幼枝; 4. 多年枝; 5. 枯枝; 6. 树干皮; 7. 树干材; 8. 呼吸根;
- 9. 大根; 10. 中根; 11. 细根。

元素含量及储量见表 2。样地土壤表层 Cu, Zn, Cd 含量分别比底层高 62.3%, 50.0%, 18.3%; 中层分别比底层高 51.3%, 39.5%, 15.7%; 表层略高于中层(Cd 相近); 总的趋势从底层至上层含量逐步提高。上层含量较高, 可能由于生境受污染之故。Pb 含量也表现中层略高于底层, 而表层反而较低, 这可能与表层含量常波动较大有关, 或该生境受 Pb 污染程度减少, 尚待进一步研究。由于目前海洋沉积物中的污染物尚无统一适用的评价标准, 因而对该林区受重金属的污染程度, 难以作确切的评价。与其他港湾红树林区相比, 该林地表层土壤(0—30cm 深)Cu, Pb, Zn, Cd 含量, 分别比广西英罗湾红海榄(*Rhizophora stylosa*)林区(表土相应元素含量分别为 18.9, 10.0, 46.6, 0.0773 × 10⁻⁶)¹⁾相应元素的含量高 102.6%, 187.0%, 144.6%, 76.6%。从表 2 也可以看出, 除底层 Pb > Cu 外, 元素含量均为 Zn > Cu > Pb > Cd。

表 2 白骨壤群落林地土壤 Cu, Pb, Zn, Cd 元素含量及储量

Tab. 2 The content and pool amount of Cu, Pb, Zn and Cd elements in soil of *Aicennia marina* community

土壤深(cm)	元素含量(× 10 ⁻⁶)				元素储量(mg / m ²)			
	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd
表层(0—30)	38.3	28.7	114	0.136	5 285.40	3 960.60	15 732.00	18.77
中层(30—60)	35.7	33.8	106	0.133	6 621.99	6 269.56	19 661.94	24.67
底层(60—90)	23.6	31.8	76	0.115	4 531.20	6 105.10	14 592.00	22.08

1) 郑文教、连玉武等, 植物生态学报, 待发表。

根据土壤元素含量结合土壤容重计算, 该样地表层土壤(0—30cm深)Cu, Pb, Zn, Cd 储量, 分别为 5285.40, 3960.60, 15732.00, 18.77mg/m²。Cu, Zn 储量, 中层 > 表层 > 底层; Pb 储量, 中层 ≈ 底层 > 表层; Cd 储量, 中层 > 底层 > 表层。

2.3 白骨壤植物对土壤 Cu, Pb, Zn, Cd 的富集系数 植物对土壤元素的吸收富集能力, 可以用富集系数来表示(即植物体内某元素的含量与该元素在土壤中含量的比值)。从本质而言, 其与植物对元素的需求量有关, 也与土壤中该元素的含量及存在形态等有关。本文仅讨论在现状生境综合条件下, 植物对土壤全量的富集系数。从表 3 可知, 深圳福田白骨壤植物对表土 Cu, Pb, Zn, Cd 的富集系数, 加权平均分别为 0.085, 0.040, 0.100, 0.323, Cu, Pb, Zn 均在 0.1 以下水平, 而 Cd 较高, 分别是前三者的 3.8, 8.1, 3.2 倍, 大小依次为 Cd >> Zn > Cu > Pb。对植物体不同部位而言, Cu 在 0.059—0.360, Pb 在 0.014—0.122, Zn 在 0.030—0.610 和 Cd 在 0.093—2.169 水平。其中叶、花、幼枝、树皮、呼吸根、中根和细根各元素的富集系数由大到小的顺序为 Cd > Zn > Cu > Pb, 多年枝、树干材和大根为 Cd > Cu > Zn > Pb(大根 Cu = Zn)。这一结果表明: 白骨壤植物在该生境综合条件下, 对土壤不同重金属元素具有不同的吸收富集能力, 整体上为 Cd >> Zn > Cu > Pb, 但不同部位对各元素的富集能力具有一定的差异。

表 3 白骨壤植物对土壤(0—30cm深)的富集系数

Tab. 3 Accumulation index of *Avicennia marina* to soil (depth 0—30cm)

组分	Cu	Pb	Zn	Cd
叶	0.133	0.067	0.204	1.868
花	0.203	0.067	0.219	1.662
幼枝	0.132	0.044	0.245	0.875
多年枝	0.096	0.026	0.082	0.126
树干枝	0.047	0.014	0.030	0.093
树干皮	0.132	0.086	0.202	0.723
呼吸根	0.134	0.087	0.220	0.363
大根	0.059	0.016	0.059	0.176
中根	0.108	0.097	0.171	0.526
细根	0.360	0.122	0.610	2.169
加权平均值	0.085	0.040	0.100	0.323

2.4 白骨壤群落 Cu, Pb, Zn, Cd 元素的现存累积量及其分布 根据群落各部位元素含量, 结合组分生物量计算群落 Cu, Pb, Zn, Cd 的现存累积量及其分布, 结果见表 4。可知, 样地白骨壤群落 Cu, Pb, Zn, Cd 元素的现存累积量, 分别为 53.70, 19.27, 187.89, 0.72mg/m², 其中地上部各占总量的 60.5%, 45.8%, 50.5%, 51.3%; 地下部各占总量的 39.5%, 54.2%, 49.5%, 48.7%, 即 Cu 为地上部 > 地下部; Pb 为地上部 < 地下部; Zn, Cd, 地上部与地下部各约占 50%。该群落地下部生物量仅约占生物量的 33%; 而 Cu 的含量则约占 40%; Pb, Zn, Cd 各分别占 49%—54%。这表明, 此 4 种重金属的现存累积量中, 较多储于地下部。

表 4 白骨壤群落 Cu, Pb, Zn, Cd 元素的现存累积量及分布¹⁾Tab. 4 Pool amount and distribution of Cu, Pb, Zn and Cd elements in *Avicennia marina* community

组分	生物量(g/m ²)	元素量(μg/m ²)			
		Cu	Pb	Zn	Cd
叶	551.34 (3.32)	2 800.81 (5.22)	1 058.57 (5.49)	12 846.22 (6.84)	140.04 (19.48)
花	1.66 (0.01)	12.88 (0.02)	3.20 (0.02)	41.50 (0.02)	0.38 (0.05)
幼枝	238.33 (1.44)	1 201.18 (2.24)	297.91 (1.54)	6 649.41 (3.54)	28.36 (3.94)
多年枝	3 505.35 (21.14)	12 934.74 (24.09)	2 576.43 (13.37)	32 880.18 (17.50)	60.29 (8.39)
死枝	796.43 (4.80)	2 572.47 (4.79)	1 115.00 (5.78)	8 521.80 (4.53)	25.57 (3.56)
树干材	5 330.01 (32.14)	9 647.32 (17.96)	2 142.66 (11.12)	18 228.63 (9.70)	67.69 (9.42)
树干皮	281.98 (1.70)	1 426.82 (2.66)	699.31 (3.63)	6 485.54 (3.45)	27.22 (3.86)
呼吸根	365.92 (2.21)	1 880.83 (3.50)	914.80 (4.75)	9 184.59 (4.89)	18.08 (2.51)
大根	2 186.20 (13.18)	4 918.95 (9.16)	988.16 (5.13)	14 734.99 (7.84)	52.47 (7.30)
中根	3 054.18 (18.42)	12 583.22 (23.43)	8 521.16 (44.21)	59 556.51 (31.70)	218.68 (30.42)
细根	268.63 (1.62)	3 707.09 (6.90)	942.89 (4.89)	18 669.79 (9.94)	79.25 (11.03)
小苗	3.85 (0.02)	17.79 (0.03)	13.98 (0.07)	92.79 (0.05)	0.29 (0.04)
地上部合计	11 074.87 (66.78)	32 494.84 (60.51)	8 821.86 (45.77)	94 930.66 (50.52)	368.42 (51.25)
地下部合计	5 509.01 (33.22)	21 209.26 (39.49)	10 452.21 (54.23)	92 961.29 (49.48)	350.40 (48.75)
总 计	16 583.88 (100.00)	53 704.10(100.00)	19 274.07(100.00)	187 891.95(100.00)	718.82(100.00)

1) 括号内数据为占总量的百分比。下表同。

从群落各组分 4 种元素累积量分布看: Cu, 为多年枝和中根居最大, 分别占 24.1% 和 23.4%; 其次, 树干材占 18.0%; 再者, 大根占 9.2%。Pb, 中根占 44.2%, 居最大; 其次多年枝和树干材分别占 13.4% 和 11.1%。Zn, Cd 亦为中根居最大, 分别占 31.7% 和 30.4%; 其次, Zn 是多年枝而 Cd 为叶, 分别占 17.5% 和 19.5%; 再者是细根和树干材, Zn, Cd 各分别占 9%—11%。其余组分各占较小的储量比。

从生态系统食物链而言, 地下根和含较大机械成分而质地坚硬的树干材、多年枝, 是较不易被动物直接啃食利用的组分, 此三项的累积量之和, Cu, Pb, Zn, Cd 分别占总量的 81.5%, 78.7%, 76.7% 和 66.6%。另一方面, 则该群落 Cu, Pb, Zn, Cd 现存累积量中, 较易直接提供给消费者利用的量, 分别为 9.91, 4.10, 43.82, 0.24mg/m², 占总量的 18.5%, 21.3%, 23.3% 和 33.4%。

2.5 白骨壤群落 Cu, Pb, Zn, Cd 元素年净存留累积量 年净存留累积量是指群落在一 年内吸收而净累积在植物体内 Cu, Pb, Zn, Cd 元素的总量, 由群落年增长量和各组分 元素含量来计算, 结果见表 5。可知, 样地白骨壤群落 Cu, Pb, Zn, Cd 年净存留累积 量, 分别为 4063.91, 1318.14, 16358.62, 60.21μg/m²。其中 Cu, Pb 为根系累积量居最 大, 分别占 34.5%, 52.4%; 其次, 幼枝各占 29.6% 和 22.6%; 多年枝及树干材 Cu 各 占 19.4% 和 14.4%, Pb 各占 11.9% 和 9.9%。Zn, Cd 幼枝居最大, 分别占 40.7% 和 47.1%; 其次, 在根系各占 38.0% 和 37.2%; 多年枝 Zn 亦占 12.2%。其余组分各元素均

占较小量, 在 7% 以下。

表 5 白骨壤群落 Cu, Pb, Zn, Cd 元素的年净存留累积量(1993)

Tab. 5 The yearly net retention accumulation of Cu, Pb, Zn and Cd elements in *Avicennia marina* community (1993)

组分	年增长量(g/m ²)	元素量(μg/m ²)			
		Cu	Pb	Zn	Cd
幼枝	238.33 (20.73)	1 201.18 (29.56)	297.91 (22.60)	6 649.41 (40.65)	28.36 (47.10)
多年枝	213.06 (18.54)	786.19 (19.35)	156.60 (11.88)	1 998.50 (12.22)	3.66 (6.08)
树干材	323.96 (28.18)	586.38 (14.43)	130.23 (9.88)	1 107.96 (6.77)	4.11 (6.83)
树干皮	17.14 (1.49)	86.72 (2.13)	42.50 (3.22)	394.20 (2.41)	1.68 (2.79)
树根	357.09 (31.06)	1 403.44 (34.53)	690.90 (52.42)	6 208.55 (37.95)	22.40 (37.20)
总计	1 149.58 (100.00)	4 063.91 (100.00)	1 318.14 (100.00)	16 358.62 (100.00)	60.21 (100.00)

2.6 样地残留物 Cu, Pb, Zn, Cd 元素含量及储量分布 残留物是群落枯枝落叶凋落而残留于林地, 大都处于分解、半分解状态的腐枝烂叶。从表 6 可知, 样地残留物中, 4 种元素的含量为 Zn>Cu>Pb>> Cu, 残留叶>残留枝, Cu, Pb, Zn, Cd 含量残留叶分别是残留枝的 2.0, 2.3, 2.2, 3.3 倍。与白骨壤植物体相应组分相比: 残留叶 Cu, Pb, Zn 的含量分别是鲜叶的 4.4, 11.4, 2.4 倍; Cd 含量则与鲜叶相近; 残留枝 Cu, Pb, Zn, Cd 含量也远高于植物体的多年枝和枯枝, 分别是多年枝的 3.0, 13.0, 2.7, 4.2 倍, 分别是枯枝的 3.4, 6.9, 2.4, 2.3 倍。残留物含较高的重金属浓度, 可能主要在于死的有机残体吸附环境中重金属之故。林鹏等(1989)对 Hg 的模拟实验也表明, 秋茄落叶及残留叶对 Hg 具有明显的吸附作用。这对以残留物为食的林区动物是较为不利的, 但富载重金属等污染物的残留物则不时随潮汐向外海漂移扩散, 减少了污染物在河口红树林区的累积和再循环, 起净化生态环境的作用。根据残留物元素含量结合残留物量计算, 该群落林地残留物这一环节, Cu, Pb, Zn, Cd 的潜在储量, 分别为 2 091.18, 1 958.66, 5 046.60, 19.30 μg/m², 其中残留叶中储量大于残留枝, 分别占 60%—70%, 残留枝储量占 30%—40%。

表 6 白骨壤林地残留物 Cu, Pb, Zn, Cd 元素的含量及储量

Tab. 6 Content and pool amount of Cu, Pb, Zn and Cd elements in residues of *Avicennia marina* community floor

组分	残留物量(g/m ²)	元素含量(×10 ⁻⁶)				元素储量(μg/m ²)			
		Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd
残留叶	56.15 (42.30)	22.1	21.8	55.9	0.238	1240.92 (59.34)	1224.07 (62.50)	3093.30 (61.29)	13.16 (69.22)
残留枝	76.60 (57.70)	11.1	9.59	25.5	0.073	850.26 (40.66)	734.59 (37.50)	1953.30 (38.71)	5.94 (30.78)
总计	132.75 (100.00)					2091.18 (100.00)	1958.66 (100.00)	5046.60 (100.00)	19.30 (100.00)

2.7 不同类型群落落叶层 Cu, Pb, Zn, Cd 元素含量及累积量比较 福田保护区红树林种类以白骨壤、秋茄和桐花树为主, 并组成相应的群落类型。车公庙 3 种类型群落叶片

重金属 Cu, Pb, Zn, Cd 含量及累积量见表 7。可知, 叶片 Cu, Zn 含量为白骨壤 > 秋茄 > 桐花树; 白骨壤叶 Cu 含量分别比后二者高 12.4% 和 61.3%; Zn 含量分别高 18.3% 和 36.3%, Pb 含量白骨壤 >> 秋茄 > 桐花树, 白骨壤分别是后二者的 3.0 和 4.5 倍; Cd 含量, 白骨壤 >> 桐花树 > 秋茄, 白骨壤分别是后二者的 4.2 和 6.5 倍。这一结果表明, 在该林区自然生境综合条件下, 不同植物叶对 Cu, Pb, Zn, Cd 元素的吸收累积能力有显著的差异, 白骨壤叶均高于秋茄叶和桐花树叶的。根据叶片元素含量结合叶生物量计算(表 7), 各群落叶层 Cu, Pb, Zn, Cd 的累积量均为白骨壤林 > 桐花树林 > 秋茄林, 其中 Cu 白骨壤林分别是后两者的 1.3 和 2.2 倍, Pb 分别是 3.7 和 6.0 倍, Zn 分别是 1.1 和 2.3 倍, Cd 分别是 3.4 和 12.8 倍。

表 7 3种红树群落叶片 Cu, Pb, Zn, Cd 元素的含量及现存累积量

Tab. 7 Content and pool amount of Cu, Pb, Zn and Cd elements in leaves of three mangrove communities

群落类型	生活型	树高	LAI	叶生物量 (g/m ²)	元素含量(×10 ⁻⁶)				元素累积量(μg/m ²)			
					Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd
白骨壤林	乔木	6.5—7.0	4.53	551.34	5.08	1.92	23.3	0.254	2 800.81	1 058.57	12 846.22	140.04
秋茄林	乔木	6.5—7.0	2.00	279.58	4.52	0.63	19.7	0.039	1 263.70	176.14	5 507.73	10.90
桐花树林	灌木	1.5—2.0	6.95	666.40	3.15	0.43	17.1	0.061	2 099.16	286.55	11 395.44	40.65

3 结语

3.1 深圳福田红树林保护区车公庙白骨壤群落林地表层土壤(0—30cm 深)Cu, Pb, Zn, Cd 含量分别为 38.3, 28.7, 114.0, 0.136×10^{-6} ; 储量分别为 5 285.40, 3 960.60, 15 732.00, 18.77mg/m²。

3.2 白骨壤植物体不同部位 Cu, Pb, Zn, Cd 含量大都有明显差异, 含量范围分别为 Cu, 1.81—13.80; Pb, 0.40—3.51; Zn, 3.42—69.50; Cd, 0.01—0.30μg/m²。植物对表层土壤 4 种元素的加权平均富集系数由大到小的顺序为 Cd>Zn>Cu>Pb。

3.3 白骨壤群落 Cu, Pb, Zn, Cd 元素现存累积量分别为 53.70, 19.27, 187.89, 0.72mg/m², 其中地上部分别占 60.5%, 45.8%, 50.5%, 51.3%, 地下部分别占 39.5%, 54.2%, 49.5%, 48.7%; 年净存留累积量分别为 4 063.91, 1 318.14, 16 358.62, 60.21μg/m²; 林地残留物组分比植物体相应组分有较高的重金属浓度; 残留物这一环节 Cu, Pb, Zn, Cd 储量分别为 2 091.18, 1 958.66, 5 046.60, 19.30μg/m²。

3.4 该林区不同红树植物对 Cu, Pb, Zn, Cd 的吸收累积能力有显著差异: 叶片, Cu, Pb, Zn 含量为: 白骨壤叶 > 秋茄叶 > 桐花树叶; Cd 含量白骨壤叶 >> 桐花树叶 > 秋茄叶; 现存叶生物量中 4 种元素的累积量均为白骨壤林 > 桐花树林 > 秋茄林。

参 考 文 献

- 中国科学院南京土壤研究所, 1978. 土壤理化分析, 上海科学技术出版社(上海), 62—272。
林鹏, 1984, 红树林, 海洋出版社(北京), 30—102。
林鹏等, 1986, 植物学报, 28(2): 224—228。
林鹏等, 1989, 海洋学报, 11(2): 242—247。

林鹏等, 1991, 生态学杂志, 10(2): 4—48.

郑文教等, 1995, 应用生态学报, 6(1): 17—22.

郑逢中等, 1992, 植物生态学与地植物学学报, 16(3): 220—226.

Teas, H. I., 1979, The Biosaline Concept, ed. by Hollaender, A. Plenum Publishing Cooperation (New York), pp. 117—161.

Tripp, M. et al., 1976, *Envir. Biog.*, 2: 489—495.

ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF Cu, Pb, Zn AND Cd IN *AVICENNIA MARINA* MANGROVE COMMUNITY OF FUTIAN IN SHENZHEN

Zheng Wenjiao, Lin Peng

(*Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005*)

Abstract Use of the quadrat method in March, 1994, to study the accumulation and distribution of Cu, Pb, Zn and Cd in the *Avicennia marina* mangrove community in the Futian Mangrove Nature Reserve in Shenzhen, China, showed that their contents in the forest soil (depth 0—30cm) were 38.3, 28.7, 114.0 and 0.136×10^{-6} ; their storages were 5285.40, 3960.60, 15732.00 and $18.77 \text{mg}/\text{m}^2$ respectively; their contents in different plant parts were 1.81—1.38, 0.402—3.51, 3.42—69.5 and $0.013—0.295 \times 10^{-6}$, and that their storages in the community were 53.70, 19.27, 187.89 and $0.72 \text{mg}/\text{m}^2$, respectively. The accumulation index of the plant in the soil was $\text{Cd} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb}$. The annual net retention accumulation of Cu, Pb, Zn and Cd in the community were 4063.91, 1318.14, 16358.52 and $60.21 \mu\text{g}/\text{m}^2$; and their storages in the residues were 2091.18, 1958.66, 5046.60 and $19.30 \mu\text{g}/\text{m}^2$ respectively; and their pool amounts in leaves of various types of communities were in the order *Avicennia marina* > *Aegiceras corniculatum* > *Kandelia candel.*

Key words Mangrove Heavy metal Futian of Shenzhen