

深圳福田红树植物群落特征及金属元素分布状况

谢海伟¹, 文冰¹, 郭勇², 石亚中¹, 伍亚华¹

(1. 蚌埠学院 食品与生物工程系, 安徽 蚌埠 233030; 2. 华南理工大学 生物科学与工程学院, 广州 510640)

摘要: 通过对深圳福田红树林群落特征的研究, 对红树植物的区系组成、群落的外貌和结构、群落的主要类型和分布进行了概述, 并对该红树林中的桐花树+秋茄+白骨壤+老鼠簕+海漆混交群落林地土壤和红树植物的金属元素分布进行分析。结果发现, 该林地土壤金属元素含量分布具有一定规律性, 元素 K、Na、Ca、Mg 在各层土壤中分布均匀; 必需金属元素 Fe、Mn 在各层土壤中含量变化不明显; 非必需重金属元素 Cr、Ni、Pb、Hg、Cd 和必需元素 Zn、Cu 含量从底层至表层逐步提高; 金属元素在该林地红树植物中分布也具有一定规律性, 元素 K、Na、Ca、Mg 在五种红树植物的不同部位均大量存在; 必需金属元素 Fe、Mn、Zn、Cu 在各种红树植物中含量 $Fe > Mn > Zn > Cu$; 非必需重金属元素 Cr、Ni、Pb、Hg、Cd 在各种红树植物中含量表现出差异性, 秋茄和海漆中 Ni 含量较大, 白骨壤中 Pb 含量最大, 桐花树中 Cr 含量最大, 老鼠簕 Cu 含量最大, Cd 和 Hg 在五种红树植物中含量都最低; 植物中金属元素含量分布和土壤中金属元素含量分布具有相关性。

关键词: 红树林; 群落特征; 金属元素; 分布

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2010)01-0064-06

Community characteristics and distribution of metal elements in mangroves in Futian of Shenzhen, China

XIE Hai-Wei¹, WEN Bing¹, GUO Yong², SHI Ya-Zhong¹, WU Ya-Hua¹

(1. Department of Food Science and Bioengineering, Bengbu College, Bengbu 233030, China; 2. College of Bioscience and Biotechnology, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Mangrove communities are made up of five species of mangrove plants including *Kandelia candel*, *Avicennia marina*, *Aegiceras corniculatum*, *Acanthus iliciifolius* and *Excoecaria agallocha* at Futian Mangrove Nature Reserve of Shenzhen. The authors investigated the flora composition, physiognomy and structure, types and distribution of mangrove community, and the causes of ecological changes at Shenzhen Bay. Accumulation and distribution of various metal elements in these mangrove communities were studied. The major element K, Na, Ca, Mg contents in forest soil were homologous from bottom to surface layer; element Fe, Mn were increased slightly from bottom to surface layer; element Cr, Ni, Pb, Hg, Cd and essential element Zn, Cu were increased obviously from bottom to surface layer. Accumulation and distribution of various metal element in five mangrove plants were studied and analyzed by the same way, element K, Na, Ca, Mg contents in all the organism of mangrove plants were sufficient, element Fe, Mn, Zn, Cu contents at all the organism in mangrove plants were in the order of $Fe > Mn > Zn > Cu$. The element Cr, Ni, Pb, Hg, Cd contents had an obvious disparity at all the organism of plants, Ni content was maximum in *K. candel* and *E. agallocha*, Pb content was maximum in *A. marina*, Cr content was maximum in *A. corniculatum*, Cu content was maximum in *A. iliciifolius*, Cd and Hg contents were minimum in all the mangrove plants. Accumulation and distri-

收稿日期: 2008-12-24 修回日期: 2009-07-23

基金项目: 安徽省自然科学基金(KJ2009B014); 博士科研启动经费项目; 蚌埠学院优秀人才基金项目[Supported by Natural Science Foundation of Anhui Province(KJ2009B014); Scientific Research Priming Item of Doctor; Excellent Teacher Item of Bengbu College]

作者简介: 谢海伟(1978-), 男, 吉林桦甸人, 博士, 主要从事多肽和酶工程方面研究, (E-mail) xiehaiwei324@163.com.

bution of various metal element in mangrove plants was dependent on contents of various metal element in forest soil.

Key words: mangrove; community feature; metal element; distribution

深圳福田红树林区位于深圳湾东北部,与香港米埔红树林隔海相望,为一长 11 km 的弧形滨海滩地,总面积 304 hm²。红树林带从海岸往外海 100~400 m 宽。福田红树林是少见的大都市域内自然保护区,深受人类活动的影响。保护区所在的深圳湾,是深圳和部分香港水污染源的集纳区,其中有几股城市污水直接排进保护区内,这使福田红树林湿地有别于其他受人类干扰较小的红树林湿地。该红树林群落的主要红树植物有秋茄、桐花树、白骨壤、海漆、老鼠勒等种类,其中桐花树、秋茄和白骨壤是本区的优势种,另外在人工实验林地引进了一些外来品种,如无瓣海桑和海桑(王瑞江等,2002)。红树林对重金属有一定的耐性,对废水具有较大的净化潜力(Tillett 等,2000),但高浓度的重金属污染也会对红树植物产生一定的毒害作用(Pan 等,2002; Nora 等,1997)。过去对于深圳福田红树群落金属元素分布的研究,主要集中于重金属在红树林生态系统中的分布和形态学指标方面(陈桂葵等,2007),以此来分析重金属对红树林生态系统的影响。对于其他常见的金属元素,植物生长必需元素的研究很少。本文研究了深圳福田红树林群落组成和结构特征,以及群落对各种金属元素的吸收、分布,进而为保护和合理利用红树林提供科学依据。

1 研究地区与方法

1.1 研究地点概况

深圳福田红树林保护区位于深圳市区内,属南亚热带季风气候区。年均气温 22.55℃,年均降水量为 1 926.8 mm。该地区海域属深圳东部中段,潮汐属不规则半日潮。研究具体地点是保护区西部红树林带(114°05' E, 22°32' N),在沙嘴村段,从内陆到外滩宽约 180 m。本区红树林沿海岸线长达 11 km,分布着连续的秋茄+桐花树+白骨壤(*Kandelia candel* + *Aegiceras corniculatum* + *Avicennia marina*)群落。

1.2 样品采集

实验样地位于深圳福田红树林自然保护区沙嘴村段,宽约 180 m,该区的红树植物种类见表 1。2007 年 7 月对该区分布在离内陆 120~168 m 地带的桐花树+秋茄+白骨壤+老鼠勒+海漆群落进行

采样。采集的红树植物有秋茄、桐花树、白骨壤、海漆、老鼠勒。分别采集该群落红树植物的叶、花、幼枝、树根等组分。同时,用分层采样法分别采集植物根系分布在 0~30 cm、30~60 cm 和 60~90 cm 土样(刘景春等,2006)。每个样品做 3 个重复。

表 1 深圳福田红树林保护区的红树植物种类
Table 1 Mangrove species at Futian Mangrove Nature Reserve of Shenzhen

种类 Species	科名 Family	类型 Category	生活型 Shape
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	红树科	真红树	小乔木
白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	马鞭草科	真红树	小乔木
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	紫金牛科	真红树	灌木
老鼠勒 <i>Acanthus ilicifolius</i>	爵床科	真红树	灌木
海漆 <i>Excoecaria agallocha</i>	大戟科	半红树	小乔木
无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>	海桑科	真红树	小乔木
海桑 <i>S. caseolaris</i>	海桑科	真红树	小乔木

1.3 分析方法

土壤样品采集后,经自然风干,过 100 目尼龙筛备用。植物样品采集后,按不同种、不同器官分组于 60℃ 下烘干,经研钵磨碎过 100 目尼龙筛。植物样品用 HNO₃-HClO₃ 消化(Hossner, 1996),用 Z-5000 型原子吸收分光光度计(HITACHI, JAPAN)测定各金属元素含量(火焰法+石墨炉法);土壤样品 HNO₃-HClO₃-HF 消化,火焰法测定各金属元素含量(黄玉环,2003)。

2 结果

2.1 深圳福田红树林群落类型及分布

2.1.1 桐花树+秋茄+白骨壤群落 该群落分布从内陆向外滩延伸 0~60 m 地带,林地薄层的稀泥,0.1 m 以下为砂质粘土,稍硬,有机质丰富,为灰黑色。群落高 4.5 m,外貌黄绿色,林相整齐,无垂直分层。桐花树在群落中占优势,其中混生有秋茄,另外林间发现有少量的白骨壤,林下比较阴暗,桐花树、秋茄(少有板根)周围比较干净,生长少许桐花树和老鼠勒的幼苗。桐花树周围偶见由其胚轴萌发的幼苗,高 5~10 cm,密度每平方米为 0~20 株。

2.1.2 秋茄+桐花树+白骨壤群落 该群落分布在 60~120 m 地带,群落外缘淤泥稀烂,深达 0.3 m,灰黑色,枯枝落叶未完全分解,有强烈臭味。随着海

滩的逐渐升高,土壤变得坚硬为灰黄色。该群落高度明显下降,林高为 2.5 m,外貌黄绿色。林相整齐,无垂直分布,优势树种为秋茄,其中混生桐花树,林间散生有少量的白骨壤,在该群落的边缘,偶尔可以发现少量的老鼠簕。林下较阴暗,有少许秋茄和老鼠簕的幼苗。

2.1.3 桐花树+秋茄+白骨壤+老鼠簕+海漆群落

该群落分布在离内陆 120~168 m 地带,海滩地势低,淹水时间长,土壤淤泥深厚,可达 0.3 m,灰黑色,富有肥力。群落高 1.5~2.0 m,外貌为淡绿色和深绿色。有垂直分层,在林层最上端为秋茄和白骨壤,中间层为桐花树和老鼠簕,林下生长有老鼠簕、桐花树、秋茄、白骨壤的幼苗;该群落桐花树占有优势,其中混有秋茄和白骨壤,群落边缘生有老鼠簕和海漆。

2.1.4 老鼠簕+海漆群落 该群落分布在离内陆 168~180 m 地带,近海河滩的硬地开阔处,面积最小。种类单纯,主要由老鼠簕和海漆构成。平均高度约 1.0 m,平均密度每平方米为 4 株,个别地方有少量的秋茄、桐花树和白骨壤幼苗生长。

2.1.5 无瓣海桑+海桑群落 该群落分布在离内陆 185~225 m 地带,设置为 250 m×40 m 的人工林。该试验地属滩涂淤泥,脚踩泥深度约 40 cm,土壤基质为花岗岩及砂页岩。主要种植无瓣海桑和海桑,1993 年无瓣海桑、海桑种子采自海南岛东寨港红树林保护区。群落垂直分布明显,分为乔木层、幼树层、幼苗层 3 层。乔木层高度在 5 m 以上,主要由无

瓣海桑和海桑组成,无瓣海桑最高可达 13.5 m,海桑最高可达 12.5 m,该层还有少量秋茄、桐花树,是从天然林扩散到试验林地内,早期进入的少数个体也已进入乔木层。幼苗层高度在 2.5 m 以下,主要是从天然扩散的秋茄、桐花树等和当年生海桑的幼苗,整个群落高度呈正金字塔型分布,表明群落正处在增长型,这也是一种合理利用空间资源的分布。

2.2 金属元素在深圳福田红树林群落中分布

2.2.1 金属元素在样地红树林土壤中分布 不同采集样区土壤重金属元素含量的高低除与生境土壤的理化特性有关之外,还与附近污染源排放重金属的程度密切相关。从表 2 可知,深圳福田桐花树+秋茄+白骨壤+老鼠簕+海漆群落林地土壤金属元素含量分布特征:(1)重金属元素如 Zn、Cu、Cr、Ni、Pb、Cd、Hg,不同层次土壤重金属元素含量,均为表层>中层>底层,即从底层至表层含量逐步提高,表层含量较高,可能在于环境受污染之故。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;而常见金属元素 K、Na、Ca、Mg 分布则成不规则变化,表层、中层和深层的变化不明显;Fe 和 Mn 元素在该林区土壤表层中含量高达 36.70 mg/g 和 0.613 mg/g,这可能与该林区土壤的理化特性有关。(2)深圳福田桐花树+秋茄+白骨壤+老鼠簕+海漆群落林地土壤金属元素含量比较:Na>Fe>Ca>Mg>K>Mn>Zn>Cu>Pb>Ni>Cr>Cd>Hg。

表 2 深圳福田红树林取样点土壤金属元素含量
Table 2 Content of metal elements in soil of Futian forestland

土壤深度 Depth of soil (cm)	含量 Concentration (mg/g)					含量 Concentration (μg/g)							
	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd	Hg
表层 Surface layer (0~30)	17.94	592.48	24.00	24.96	36.70	613	125	48.3	17.71	35.6	48.7	0.146	0.053
中层 Mid-layer (30~60)	16.21	629.63	26.20	17.76	34.10	581	116	43.3	15.60	26.3	43.3	0.123	0.058
深层 Bottom layer (60~90)	16.09	635.26	25.20	16.08	35.63	546	83	33.6	9.52	21.4	35.8	0.118	0.023

2.2.2 红树植物体内不同部位金属元素的含量 该群落中桐花树、秋茄、白骨壤、海漆和老鼠簕不同部位重金属元素含量分析结果如表 3。由表 3 可知,各元素在同一植物的不同部位含量存在明显差异,而同种元素在不同植物的相同部位含量亦不同。

(1)不同红树植物不同部位金属元素含量:植物秋茄对各金属元素的吸收及累积大都有明显的差异,Fe、Cu、Cr、Ni、Cd 和 Hg 等重金属元素的积累

部位主要在根,Mn、Zn 在叶和根有较多的累积,K、Na、Ca、Mg 在红树植物体内累积较均匀;白骨壤对各金属元素的吸收及累积大都有明显的差异,Fe、Zn、Cu、Ni、Hg、Pb、Cd 元素的累积部位主要在根部,Mn 主要累积部位则在叶和根,K、Na、Ca 在枝和叶有较多的累积;桐花树对各金属元素的吸收及累积大都有明显的差异,Fe、Cu、Cr、Ni、Pb、Pb、Cd 元素的累积部位主要在根部,Hg 在叶中相对分布

较多, Mn、Zn 在叶和花有较多的累积, K、Na、Ca、Mg 在红树植物体内累积较均匀, K 主要集中在花部位, Ca 在枝中较多; 老鼠筋对各金属元素的吸收及累积大都有明显的差异, K、Ca、Na、Mg、Zn、Cr 和 Pb 元素的累积部位主要在叶, Fe、Cu 和 Hg 主要在

根部, Mn 和 Cd 主要积累在枝叶部位。海漆不同部位金属元素含量的分析结果表明, 海漆对各金属元素的吸收及累积大都有明显的差异, Fe、Mn、Zn、Cu、Cr、Ni 元素的累积部位主要在根部, Pb、Cd、Hg 在叶和花有较多的累积, K、Na、Ca、Mg 在红树植物

表 3 红树植物不同组织部位金属元素含量
Table 3 Content of metal elements in different parts of mangrove plants

金属元素 Metal elements	桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>				白骨壤 <i>Avicennia marina</i>			
	花 Flower	叶 Leaf	枝 Branch	根 Root	花 Flower	叶 Leaf	枝 Branch	根 Root
K (mg/g)	1.59	1.12	1.07	1.38	1.36	0.82	1.87	1.30
Na(mg/g)	0.71	1.05	0.81	0.70	1.99	2.41	1.39	1.30
Ca(mg/g)	0.172	0.263	0.343	0.212	0.461	0.404	0.826	0.363
Mg(mg/g)	0.145	0.225	0.188	0.370	0.252	0.339	0.310	0.622
Fe(μg/g)	81	23	89	773	154	89	190	2169
Mn(μg/g)	25	64	19	30	55	108	76	426
Zn(μg/g)	30.2	26.3	20.7	16.7	32.6	31.4	19.8	176
Cu(μg/g)	2.50	2.91	4.42	5.80	7.95	7.27	6.30	19.21
Cr(μg/g)	7.7	11.0	13.8	16.3	7.7	3.2	7.0	6.1
Ni(μg/g)	9.15	4.50	4.53	9.18	4.50	6.80	11.30	15.92
Pb(μg/g)	7.1	8.8	9.8	11.1	8.4	9.9	6.9	31.0
Hg(μg/g)	0.05	0.17	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.03
Cd(μg/g)	0.53	0.70	1.06	1.60	0.40	0.60	0.60	1.19

金属元素 Metal elements	秋茄 <i>Kandelia candel</i>				老鼠筋 <i>Acanthus ilici folius</i>			海漆 <i>Excoecaria agallocha</i>			
	花 Flower	叶 Leaf	枝 Branch	根 Root	叶 Leaf	枝 Branch	根 Root	花 Flower	叶 Leaf	枝 Branch	根 Root
K(mg/g)	1.28	1.02	0.86	0.67	2.78	2.71	1.71	1.83	1.11	1.70	1.01
Na(mg/g)	1.12	0.76	0.81	2.18	2.16	1.00	1.51	0.57	0.77	0.59	1.27
Ca(mg/g)	1.144	0.85	0.75	0.32	0.49	0.42	0.25	0.11	1.13	0.64	0.25
Mg(mg/g)	0.245	0.26	0.28	0.39	0.36	0.36	0.43	0.12	0.16	0.12	0.19
Fe(μg/g)	303	132	66	1330	104	147	647	128	161	101	792
Mn(μg/g)	855	468	142	413	49	52	42	16	96	60	164
Zn(μg/g)	33.0	15.2	10.3	33.0	52.8	20.4	24.8	30.8	21.3	27	41.0
Cu(μg/g)	6.82	2.12	3.80	6.82	8.25	12.30	12.76	4.87	5.38	4.30	7.55
Cr(μg/g)	12.3	3.62	5.73	12.34	7.21	4.05	2.41	7.73	7.23	7.76	8.15
Ni(μg/g)	9.11	6.80	2.33	29.62	4.55	22.82	6.88	15.90	22.80	25.0	29.61
Pb(μg/g)	6.8	7.34	6.82	9.61	7.45	6.72	5.03	7.01	10.50	5.75	8.59
Hg(μg/g)	0.04	<0.010	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.06	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cd(μg/g)	1.39	0.79	0.19	1.39	0.99	1.19	0.40	0.40	1.39	0.79	0.40

体内累积较均匀, K 主要集中在花部位。

(2) 同一种红树植物对不同元素的吸附差异: 同一种植物对不同金属离子的吸附能力不同, 5 种红树植物总金属元素含量变化呈一定的规律性, 对于大量元素如 K、Ca、Mg 元素, 秋茄和白骨壤体内 Na 元素最多, 而桐花树、老鼠筋和海漆则 K 元素最多, 其他元素含量规律相同; 对于植物体必需金属元素如 Fe、Mn、Zn 和 Cu 元素, 5 种红树植物在体内含量具有相同的规律, Fe > Mn > Zn > Cu; 对于植物体非必需的重金属元素如 Ni、Cr、Pb、Cd、Hg 元素, 在 5

种红树植物体内含量差异性较大, 在秋茄和海漆中 Ni 含量较大, 白骨壤中 Pb 含量最大, 桐花树中 Cr 含量最大, 老鼠筋 Cu 含量最大, Cd、Hg 在五种红树植物中含量都最低。

(3) 不同种红树植物对同一元素的吸附总量差异: 从表 4 可以看出, 对 Cr、Hg、Cd 等重金属元素的吸附能力以桐花树和秋茄最强, 对 Pb、Ni 的吸附能力则为白骨壤和海漆最强; 而对于 Fe、Zn、Mn、Cu 等常见必需元素的吸附能力则以白骨壤和秋茄最强; 而对于元素 K、Na、Ca、Mg 的吸附能力则是白骨

壤、老鼠簕和秋茄最强。由此可见,不同红树植物对金属元素的吸附能力差别较大,这主要由于红树植

物积累富集金属元素的因素与红树林地土壤污染程度和植物自身富集能力有关。

表 4 不同红树植物金属元素含量平均值

Table 4 Mean metal element contents in different plants of Futian, Shenzhen

金属元素 Metal elements	桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	秋茄 <i>Kandelia candel</i>	老鼠簕 <i>Acanthus ilici folius</i>	海漆 <i>Excoecaria agallocha</i>
K(mg/g)	1.29 ± 0.08	1.33 ± 0.09	0.95 ± 0.06	2.40 ± 0.16	1.41 ± 0.03
Na(mg/g)	0.81 ± 0.09	1.77 ± 0.19	1.21 ± 0.11	1.55 ± 0.17	0.80 ± 0.11
Ca(mg/g)	0.24 ± 0.12	0.51 ± 0.99	0.76 ± 0.13	0.38 ± 0.04	0.53 ± 0.03
Mg(mg/g)	0.23 ± 0.06	0.38 ± 0.09	0.29 ± 0.10	0.38 ± 0.12	0.14 ± 0.05
Fe(μg/g)	241.50 ± 0.10	650.50 ± 0.20	457.70 ± 0.35	299.30 ± 0.10	295.50 ± 0.10
Mn(μg/g)	34.50 ± 0.59	166.30 ± 0.29	366.30 ± 0.32	47.70 ± 0.25	84.07 ± 0.19
Zn(μg/g)	23.50 ± 0.23	64.90 ± 0.21	22.90 ± 0.19	32.70 ± 0.29	30.20 ± 0.10
Cu(μg/g)	3.90 ± 0.01	10.15 ± 0.02	4.87 ± 0.01	11.06 ± 0.09	5.47 ± 0.03
Cr(μg/g)	12.20 ± 0.09	6.01 ± 0.03	8.47 ± 0.09	4.53 ± 0.01	7.67 ± 0.02
Ni(μg/g)	6.80 ± 0.01	9.62 ± 0.01	11.90 ± 0.02	11.36 ± 0.59	23.30 ± 0.19
Pb(μg/g)	9.24 ± 0.09	14.52 ± 0.02	7.62 ± 0.01	6.36 ± 0.01	7.97 ± 0.09
Hg(μg/g)	0.050 ± 0.001	0.010 ± 0.001	0.032 ± 0.010	0.015 ± 0.002	0.000 ± 0.00
Cd(μg/g)	0.97 ± 0.01	0.69 ± 0.01	0.94 ± 0.01	0.86 ± 0.01	0.74 ± 0.01

3 讨论

通过本研究发现,该区红树林从海岸内陆连续延伸到外滩,靠内陆侧的红树林明显高于靠海边的红树林,该红树林群落中桐花树从岸边到海边呈连续分布,秋茄也基本呈连续分布,白骨壤和老鼠簕呈非连续分布,老鼠簕在群落的外围、靠海侧的群落中偶尔出现;海漆在附近岸边有少量出现,呈非连续分布。研究发现,该红树林红树植物物种较少,仅有6种红树植物;群落结构单一,种类组成主要以桐花树、秋茄、白骨壤作为优势植物,老鼠簕、海漆仅零星分布在该群落之中,这种单一的红树结构容易受到外界条件的影响而遭到破坏(梁士楚等,2004);另外深圳福田红树林是介于大都市区内的红树群落,受人类活动影响严重,部分天然红树林正开始萎缩。为改善这种状况,增加红树林的种群多样性,引进外来新红树品种,进行了引种试验建立人工林。但在实际操作中要注意外来红树品种对本地红树的影响,防止破坏原有的生态平衡。

植物中金属元素含量是植物生物学特性与生态环境相统一的结果,同时由于植物中不同器官的生理机能不同,不同金属元素在植物及不同器官中的分布有所差异(Zhou等,2007)。对于红树林中必需金属元素分布,与生境土壤中金属元素含量有关,植物自身对必需元素的需求是最重要的(管启杰等,

2002)。各种必需元素在红树植物中的作用,如K、Ca、Mg、Mn、Fe、Zn、Cu在细胞内可作为多种酶的活化剂,或辅助因子,在碳水化合物代谢及蛋白质代谢中起重要作用,维系细胞渗透势压的作用,参与光合作用和呼吸作用。

本研究表明,深圳福田红树植物的不同器官的元素含量存在明显差异,K、Na在红树植物各个器官中的含量几乎都是最高的,与其土壤中的高盐分含量相一致,这除了反映盐生植物的特点外,也是红树植物对潮滩生境长期适应而产生的一种生理需求(何斌等,2002)。植物对金属元素的吸收利用是按一定的比例关系进行的,可以通过叶、花、枝、根等器官反映出来,同时反映了红树植物对化学元素吸收与积累的特点。红树植物中的金属元素含量,主要取决于红树植物的生物学特性,生境条件的影响是第二位的。红树植物金属元素含量与土壤含量呈现比较显著的正相关关系(Tam & Wong,2000),另外与附近污染源排放重金属的程度密切相关。深圳福田红树林和与我国其它红树林区表层土壤相应元素的含量相比(郑文教等,1996),该林区Fe、Cu、Pb含量分别比福建九江口秋茄红树林区、广西英罗湾红树林区表土含量高,这是由于几股城市污水直接排进保护区,重金属污染所致。而重金属元素在红树植物体内的分布因重金属种类、红树种类以及器官组织的不同而异,该区红树植物各器官的重金属Mn、Zn、Cu、Pb、Cr、Ni、Cd、Hg含量与红树群落土

壤重金属含量呈正相关关系。

参考文献:

- Chen GK(陈桂葵), Chen GZ(陈桂珠). 2007. Distribution and migration of zinc in *Avicennia marina* plant-soil system(锌在红树植物白骨壤-土壤系统中的分布与迁移)[J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **18**(7): 1 505-1 509
- He B(何斌), Wen YG(温远光), Yuan X(袁霞), et al. 2002. Studies on soil physical and chemical properties and enzyme activities of different mangrove communities in Yingluo Bay of Guangxi(英罗湾红树植物群落不同演替阶段植物元素分布及其与土壤肥力的关系)[J]. *Sci Silv Sin(林业科学)*, **38**(2): 21-26
- Hossner LR. 1996. Dissolution for total elemental analysis[M]// Sparks DL. Methods of Soil Analysis. Part 3; Chemical Methods. Madison, WI: SSSA and ASA, Wisconsin: 49-64
- Huang YH(黄玉环). 2003. Determination of heavy metals in mangrove by atomic absorption spectrometry(原子吸收光谱法测定红树林中的重金属)[J]. *Fujian Anal Test(福建分析测试)*, **12**(3): 1 812-1 814
- Liang SC(梁士楚), Liu JF(刘镜法), Liang MZ(梁铭忠). 2004. Ecological study on the mangrove communities in Beilunhekou National Nature Reserve(北仑河口国家级自然保护区红树植物群落研究)[J]. *J Guangxi Nor Univ; Nat Sci Edi(广西师范大学学报: 自然科学版)*, **22**(2): 70-76
- Lin YM(林益明), Ke LN(柯莉娜), Wang ZC(王湛昌), et al. 2002. Seasonal changes in the caloric values of the leaves of seven mangrove species at Futian, Shenzhen(深圳福田红树林区 7 种红树植物叶热值的季节变化)[J]. *Acta Oceanol Sin(海洋学报)*, **24**(3): 112-118
- Liu JC(刘景春), Yan CL(严重玲). 2006. Spatial distribution of Pb, Cd, Ni, Fe in mangrove sediments of the Zhangjiang Estuary, Fujian Province(福建漳江口红树林湿地沉积物中四种重金属的空间分布特征)[J]. *Subtrop Plant Sci(亚热带植物科学)*, **35**(4): 1-5
- Nora FY, Tam Yuk-Shan Wong. 1997. Accumulation and distribution of heavy metals in a simulated mangrove system treated with sewage[J]. *Hydrobiologia*, **352**: 67-75
- Pan H, Song L R, Liu Y D, et al. 2002. Detection of hepatotoxic microcystis strains by PCR with intact cells from both culture and environmental samples[J]. *Arch Microbiol*, **78**(6): 421-427
- Tam NF, Wong YS. 2000. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps[J]. *Environ Pollut*, **110**(2): 195-205
- Tillett D, Dittmann E, Erhard M, et al. 2000. Structural organization of microcystin biosynthesis in *Microcystis aeruginosa* PCC7806: an integrated peptide polyketide synthetase system [J]. *Chem Biol*, **7**(10): 753-764
- Wang RJ(王瑞江), Chen ZY(陈忠毅). 2002. Systematics and biogeography study on the family Sonneratiaceae(海桑科的系统进化及地理分布)[J]. *Guihaia(广西植物)*, **22**(3): 214-219
- Zan QJ(詹启杰), Wang YJ(王勇军), Wang BX(王伯荪). 2002. Accumulation and cycle of N, P, K, elements in *Sonneratia apetala* + *S. caseolaris* mangrove community at Futian of Shenzhen, China(深圳福田红树林无瓣海桑+海桑群落 N, P, K 累积和循环)[J]. *Guihaia(广西植物)*, **22**(4): 331-336
- Zheng WJ(郑文教), Lian YW(连玉武), Lin P(林鹏). 1996. Accumulation and dynamic of heavy metal elements in *Rhizophora stylosa* community at Yingluo in Guangxi(广西英罗湾红海榄林重金属元素的累积及动态)[J]. *Acta Phytoecol Sin(植物生态学报)*, **20**(1): 20-27
- Zhou F, Guo H, Hao Z. 2007. Spatial distribution of heavy metals in Hong Kong's marine sediments and their human impacts: a GIS-based chemometric approach[J]. *Mar Pollut Bull*, **54**(9): 1 372-1 384
- Tanaka R. 1971. Types of resting nuclei of Orchidaceae[J]. *Bot Mag Tokyo*, **84**: 118-122
- Tanaka R. 1977. The karyotype. In: Yamashita K. Plant genetics [M]. I. Shokabo, Tokyo (in Japanese), 335-358
- Yan GX(阎贵兴), Zhang SZ(张素贞), Xue FH(薛凤华), et al. 1995. The chromosome numbers of 35 forage species and their geographical distribution(35 种国产饲用植物染色体数目的观测)[J]. *Grassland of China(中国草地)*, **1**: 16-20
- Yang DK(杨德奎). 1998. The karyotype studies of four herbaceous species from Shandong(山东四种草本植物的核型研究)[J]. *Guihaia(广西植物)*, **18**(1): 41-44
- Zhou SJ(周树军), Wang JW(汪劲武). 1997. The cytologic study on the species of *Dendranthema*(10 种菊属植物的细胞学研究)[J]. *J Wuhan Bot Res(武汉植物学研究)*, **15**(4): 289-292

(上接第 54 页 Continue from page 54)