

# 雷州无瓣海桑群落 7 种元素的生物累积和循环<sup>\*</sup>

韩维栋<sup>1\*\*</sup> 赵云涛<sup>2</sup> 卢昌义<sup>3</sup> 林鹏<sup>3</sup>

(湛江海洋大学<sup>1</sup> 农学院; <sup>2</sup> 现代生物学实验中心 湛江 524088; <sup>3</sup> 厦门大学环境科学研究中心 厦门 361005)

**摘要** 在雷州市附城镇岚北人工生态恢复的 7 a 生无瓣海桑群落生物量调查的基础上,对所采集的无瓣海桑进行了植物体各组分样品的灰分和元素含量测定与循环分析,结果表明:无瓣海桑植物体不同组分的灰分含量范围为 2.27%~26.41%,以细根的含量最高,枯枝的含量最低。植物体各组分中 7 种元素质量分数范围分别为 K 0.11%~1.56%,Na 0.11%~1.66%,Ca 0.20%~2.66%,Mg 0.15%~1.59%,Fe  $0.04 \times 10^{-3}$ ~ $9.64 \times 10^{-3}$ ,Zn  $0.05 \times 10^{-4}$ ~ $1.03 \times 10^{-4}$ ,Cu  $0.16 \times 10^{-5}$ ~ $1.50 \times 10^{-5}$ 。其加权平均的富集系数为 0.05~9.70,其中 Ca>K>Cu>Na>Mg>Zn>Fe。群落现存生物量中的累积储量分别为 K 109.76 g m<sup>-2</sup>,Ca 138.89 g m<sup>-2</sup>,Na 86.57 g m<sup>-2</sup>,Mg 81.07 g m<sup>-2</sup>,Fe 13.139 g m<sup>-2</sup>,Zn 0.483 g m<sup>-2</sup>,Cu 0.108 g m<sup>-2</sup>。群落 2001 年的元素存留累积储量分别为 Ca 41.68 g m<sup>-2</sup>,K 37.24 g m<sup>-2</sup>,Mg 27.33 g m<sup>-2</sup>,Na 25.56 g m<sup>-2</sup>,Fe 4.275 g m<sup>-2</sup>,Zn 0.188 g m<sup>-2</sup>,Cu 0.039 g m<sup>-2</sup>。2001 年归还量分别为 Ca 28.59 g m<sup>-2</sup>,K 16.83 g m<sup>-2</sup>,Mg 12.07 g m<sup>-2</sup>,Na 11.58 g m<sup>-2</sup>,Fe 0.916 g m<sup>-2</sup>,Zn 0.141 g m<sup>-2</sup>,Cu 0.026 g m<sup>-2</sup>。年吸收量分别为 Ca 70.27 g m<sup>-2</sup>,K 54.07 g m<sup>-2</sup>,Mg 39.40 g m<sup>-2</sup>,Na 37.14 g m<sup>-2</sup>,Fe 5.191 g m<sup>-2</sup>,Zn 0.329 g m<sup>-2</sup>,Cu 0.065 g m<sup>-2</sup>。周期期分别为 Zn 3 a,Cu 4 a,Ca 5 a,K 7 a,Mg 7 a,Na 8 a,Fe 14 a。与我国其它种类红树林比较表明,无瓣海桑群落在 7 a 的生态恢复过程中表现出对各测定元素吸收较快、周期期较短的特点。图 1 表 9 参 30

**关键词** 无瓣海桑; 元素 K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu; 生物累积与循环; 广东雷州

**CLC** Q948.1 : S792.159

## SEVEN METAL ELEMENT'S BIOLOGICAL ACCUMULATION AND CIRCULATION OF SONNERATIA APETALA PLANTATION IN LEIZHOU, GUANGDONG<sup>\*</sup>

HAN Weidong<sup>1\*\*</sup>, ZHAO Yuntao<sup>2</sup>, LU Changyi<sup>3</sup> & LIN Peng<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Agricultural College, <sup>2</sup> Advanced Biological Lab Center, Zhanjiang Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

(<sup>3</sup> Environmental Research Center, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

**Abstract** Based on the former biomass survey results of the severaged restored *Sonneratia apetala* community in Lanbei, Fuchen, Leizhou, the results from the analysis on ash and elemental contents of the *S. apetala* samples collected from the survey showed that the ash contents of different parts of *S. apetala* were between 2.27%~26.41%, with the highest in fine root and the lowest in dead branch. The elemental mass fraction in different partitions of *S. apetala* as K 0.11%~1.56%, Na 0.11%~1.66%, Ca 0.20%~2.66%, Mg 0.15%~1.59%, Fe  $0.04 \times 10^{-3}$ ~ $9.64 \times 10^{-3}$ , Zn  $0.05 \times 10^{-4}$ ~ $1.03 \times 10^{-4}$  and Cu  $0.16 \times 10^{-5}$ ~ $1.50 \times 10^{-5}$ . The average elemental accumulation ratios by the plant dry weight were between 0.05~9.70 in order as Ca>K>Cu>Na>Mg>Zn>Fe. The total amount of elements stored in the community's standing biomass were K 109.76 g m<sup>-2</sup>, Na 86.57 g m<sup>-2</sup>, Ca 138.89 g m<sup>-2</sup>, Mg 81.07 g m<sup>-2</sup>, Fe 13.139 g m<sup>-2</sup>, Zn 0.483 g m<sup>-2</sup> and Cu 0.108 g m<sup>-2</sup>. The total yearly accumulation amount of elements of the community in 2001 were Ca 41.68 g m<sup>-2</sup>, K 37.24 g m<sup>-2</sup>, Mg 27.33 g m<sup>-2</sup>, Na 25.56 g m<sup>-2</sup>, Fe 4.275 g m<sup>-2</sup>, Zn 0.188 g m<sup>-2</sup> and Cu 0.039 g m<sup>-2</sup>; Yearly total return amount in 2001 were K 16.83 g m<sup>-2</sup>, Na 11.58 g m<sup>-2</sup>, Ca 28.59 g m<sup>-2</sup>, Mg 12.07 g m<sup>-2</sup>, Fe 0.916 g m<sup>-2</sup>, Zn 0.141 g m<sup>-2</sup>, and Cu 0.026 g m<sup>-2</sup>; Yearly total absorbing amount were K 54.07 g m<sup>-2</sup>, Na 37.14 g m<sup>-2</sup>, Ca 70.27 g m<sup>-2</sup>, Mg 39.40 g m<sup>-2</sup>, Fe 5.191 g m<sup>-2</sup>, Zn 0.329 g m<sup>-2</sup> and Cu 0.065 g m<sup>-2</sup>. The elemental circulatory periods of K was 7 years, Na 8 years, Ca 5 years, Mg 7 years, Fe 14 years, Zn 3 years, and Cu 4 years. During its short 7 year period of restoration process, the community showed high absorbing and circulatory speed of the tested elements compared with other mangroves in China. Fig 1, Tab 9, Ref 30

**Keywords** *Sonneratia apetala*; metal elements: K, Na, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu; biological accumulation and circulation; Leizhou, Guangdong

**CLC** Q948.1 : S792.159

收稿日期: 2002-12-16 修回日期: 2003-05-12

\* 获得中国-荷兰雷州半岛红树林综合管理和海岸保护项目部分资助 Partially Supported by the Sino-Dutch Integrated Mangrove Project in Leizhou Peninsula

\*\* 通讯作者 Corresponding author (E-mail: hanwd2000@yahoo.com.cn)

矿物质含量与元素含量研究对包括无瓣海桑林在内的红树林生态系统的科学探索和经济利用,具有重要的意义<sup>[1-7]</sup>. 本文在对雷州人工无瓣海桑群落生物量与凋落物研究基础上,研究了该群落的7种元素累积和循环,以便为我国无瓣海桑人工红树林的经营提供科学依据.

## 1 材料与方法

本研究的无瓣海桑(*Sonneratia apetala* Buch.-Ham.)林样地位于广东省雷州市附城镇岚北村海堤坝外下海口海滩(7 a), (E)109°03', (N)20°30'. 该地属南亚热带季风气候,年平均22.9℃,多年各月平均气温15.5℃(1月)~28.4℃(7月). 年平均降雨量1711 mm<sup>[8]</sup>. 林地位于平缓的潮间带内侧,不正规半日潮,高潮时水深1.5~1.8 m,低潮时林地露出水面0.6~1.2 m,林地边潮沟长年有淡水排放淡化林地海水盐份含量. 作者在2001年4月测得林地表层土壤盐度为2.22%, pH值5.82. 该7 a生人工无瓣海桑林为1995年8月造林,苗木来自海南省东寨港,造林规格为2 m×2 m,共造林0.67 hm<sup>2</sup>,为当地政府对该树种的首次试验林.

在样地内设置2个5 m×5 m样方,根据样方每木检测结果的平均值确定与该值最接近的单株为标准木,每样方伐倒标准木各1株,获取各器官样品,并以这2株标准木的生物量和材积生长平均值推算群落的生物量与材积生长指标<sup>[9-11]</sup>. 同时获取样地0~30 cm深土样,标准木地表以下部分树干去除分出的根系部分后按树兜计,选取1 m<sup>2</sup>林地挖出1 m深的全部土样,以1 mm径网冲洗出所有根系,无瓣海桑的根系分出粗根( $d > 1.5$  cm)、中根( $1.5 > d > 0.2$  cm)、细根( $d < 0.2$  cm). 在样地林内随机设置6个尼龙收集网收集凋落物,收集网网口

面积1 m×1 m,深度( )30 cm,孔径1 mm×2 mm,悬挂高度为2 m,尽量使树冠处于收集网的上方. 于2001年2月至2002年2月,每7~10 d收集1次,取回后80℃烘干,按月将收集到的叶、枝、花、果等分类称重保存,各组分抽样于105℃烘干,计算出单位面积的凋落物中各组分干重生物量<sup>[12-13]</sup>.

将待测样品80℃烘干、研磨成粉,采用烘干法获得各样品灰分含量<sup>[14,15]</sup>,灰分经HCl消化,用原子吸收分光光度计(日本岛津AA-3800)测定K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu含量<sup>[16]</sup>. 另取小样在105℃条件下烘干测各样品干重. 元素含量以干重质量分数或百分数(w/%)表示. 植物对土壤元素的富集能力以富集系数表示,植物组分的元素富集系数的计算为植物体内某元素的含量与该元素在土壤中含量的比值<sup>[5]</sup>. 年存留累积储量是指一年中群落吸收而存留累积在植物体内的元素量,由群落年增长量和各组分元素含量的积来计算,而元素的年归还量指年凋落物元素总量<sup>[5]</sup>. 年吸收量为年存留量和年归还量之和. 周转期是指某一元素在群落现存量中的总累积与年凋落物中该元素总量之比<sup>[5]</sup>.

## 2 结果与分析

### 2.1 无瓣海桑植物体不同组分的灰分与元素质量分数

无瓣海桑植物体不同组分的灰分(质量分数)范围为2.27%~26.41%. 细根的灰分含量最高,枯枝的含量最低,它们的大小顺序为:细根>中根>叶>树皮>气生根>粗根>嫩枝>树兜>老枝>树干>枯枝(表1). 各组分加权平均灰分含量为5.71%,与0~30 cm土壤灰分含量(88.84%)的比值为0.06,土壤中的灰分含量远高于植物体内的灰分含量.

表1 无瓣海桑各器官(组分)及土壤的灰分和元素质量分数  
Table 1 The mass fraction of ash and elements in *Sonneratia apetala* and soil

项目* Item	灰分含量 Ash content	w/ %						
		K	Na	Ca	Mg	w(Fe) / 10 <sup>-3</sup>	w(Zn) / 10 <sup>-4</sup>	w(Cu) / 10 <sup>-5</sup>
叶 Leaf	13.10	1.26	0.87	2.02	0.99	0.82	1.03	1.25
嫩枝 Twigs	7.78	0.73	0.37	0.48	0.52	0.32	0.74	0.87
老枝 Perennial branch	3.54	0.36	0.21	0.43	0.25	0.06	0.07	0.62
枯枝 Dead branch	2.27	0.11	0.11	0.94	0.15	0.11	0.11	1.50
树皮 Bark	10.84	0.74	0.62	2.66	0.68	0.90	0.13	0.63
树干 Trunk	2.33	0.23	0.15	0.28	0.15	0.04	0.05	0.27
细根 Fine root	26.41	1.56	1.66	0.20	1.59	9.64	0.95	0.76
中根 Middle root	20.96	1.20	1.25	0.48	1.02	7.50	0.30	0.56
粗根 Big root	9.24	0.70	0.57	1.04	0.54	1.01	0.37	0.55
气生根 Aerial root	9.44	0.68	0.61	1.03	0.61	1.86	0.30	0.54
树兜 Underground trunk	3.69	0.32	0.24	0.27	0.22	0.35	0.10	0.16
加权平均 Weighted mean	4.64	0.39	0.28	0.48	0.29	0.49	0.18	0.40
0~30 cm 深土壤 Soil depth	88.84	0.69	1.25	0.09	1.53	19.84	1.59	0.87

从表 1 可知,无瓣海桑植物体各组分中的 K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu 含量差异明显,含量范围分别为 K 0.11% ~ 1.56%, Na 0.11% ~ 1.66%, Ca 0.20% ~ 2.66%, Mg 0.15% ~ 1.59%, Fe  $0.02 \times 10^{-3}$  ~  $9.64 \times 10^{-3}$ , Zn  $0.05 \times 10^{-4}$  ~  $1.03 \times 10^{-4}$ , Cu  $0.16 \times 10^{-5}$  ~  $1.50 \times 10^{-5}$ .

同种元素在各器官(组分)中的质量分数(含量)大小顺序如下:

K: 细根 > 叶 > 中根 > 树皮 > 嫩枝 > 粗根 > 气生根 > 老枝 > 树兜 > 树干 > 枯枝;

Na: 细根 > 中根 > 叶 > 气生根 > 树皮 > 粗根 > 嫩枝 > 树兜 > 老枝 > 树干 > 枯枝;

Ca: 树皮 > 叶 > 粗根 > 气生根 > 枯枝 > 中根 = 嫩枝 > 老枝 > 树干 > 树兜 > 细根;

Mg: 细根 > 中根 > 叶 > 树皮 > 气生根 > 粗根 > 嫩枝 > 老枝 > 树兜 > 树干 = 枯枝;

Fe: 细根 > 中根 > 气生根 > 粗根 > 树皮 > 叶 > 树兜 > 嫩枝 > 枯枝 > 老枝 > 树干;

Zn: 叶 > 细根 > 嫩枝 > 粗根 > 气生根 > 中根 > 树皮 > 枯枝 > 树兜 > 老枝 > 树干;

Cu: 枯枝 > 叶 > 嫩枝 > 细根 > 树皮 > 老枝 > 中根 > 粗根 >

气生根 > 树干 > 树兜。

这表明各元素在各器官(组分)中的含量存在差异。K、Na、Mg、Fe 在细根中的含量最高, Zn 在叶中的含量最高, Cu 在枯枝中的含量最高, Ca 在树皮中的含量最高。K、Na、Ca、Mg、Zn 在代谢旺盛的部分(如细根、叶、树皮、嫩枝)含量较高<sup>[17]</sup>, 有明显的累积作用。无瓣海桑中各元素的加权平均值分别为(从大到小排列): Ca 0.48%, K 0.39%, Mg 0.29%, Na 0.28%, Fe  $0.49 \times 10^{-3}$ , Zn  $0.18 \times 10^{-4}$ , Cu  $0.40 \times 10^{-5}$ 。

## 2.2 凋落物中的元素含量

凋落物的化学组成可用作植物养分利用效率的指标<sup>[18]</sup>。表 2 为 2001 年 2 月至 2002 年 1 月全年无瓣海桑群落凋落物各组分元素含量(质量分数)分析结果。从表中可知,凋落的叶、枝、果中各元素含量在一年中的不同时期存在差异,其中 8~9 月收集的凋落物中 K、Na 含量最低,这是因为这两种元素是易于运转的元素,凋落物脱落前,这两种元素已被运输到其他代谢旺盛组织(如嫩叶、嫩枝和细根等);与此同时, K、Na 的渗透性很强,由于雨季中雨水的冲刷使得凋落物中这两种元素含量较少,比其他森林的淋溶损失更多<sup>[21]</sup>。而 Ca、Mg 则是较难于运转的元素,凋落物中 Ca、Mg 的含量与活组织中的含量相近。

表 2 无瓣海桑凋落物中的元素质量分数

Table 2 Mass fraction of ash and elements in litter collected in *S. apetala* community

凋落物 Litter	月份 Mbnth	K	Na	Ca	Mg	w(Fe)	w(Zn)	w(Cu)
		w/ %				/ $10^{-3}$	/ $10^{-4}$	/ $10^{-5}$
落叶 Leaf	2~3	1.39	0.93	2.75	1.06	0.93	1.03	1.23
	4~5	1.51	1.04	3.08	1.18	0.63	1.21	1.04
	6~7	0.88	0.67	2.48	0.80	0.82	0.83	1.11
	8~9	0.85	0.59	1.37	0.70	0.84	0.68	1.36
	10~11	1.10	0.77	1.28	0.85	0.48	0.63	1.23
	12~1	1.16	0.80	1.34	0.88	0.59	0.80	0.79
落枝 Branch	2~3	0.70	0.49	0.97	0.55	0.26	0.98	1.38
	4~5	0.57	0.38	1.08	0.44	0.22	0.71	1.79
	6~7	0.40	0.30	1.28	0.38	0.35	0.61	1.79
	8~9	0.29	0.23	0.93	0.31	0.08	0.43	1.67
	10~11	0.60	0.41	1.13	0.48	0.20	0.56	1.04
	12~1	0.68	0.42	0.62	0.48	0.69	0.89	.87
落果 Fruit	2~3	0.57	0.27	0.13	0.37	0.07	0.40	1.31
	4~5	0.64	0.35	0.19	0.41	0.09	0.39	1.44
	6~7	0.70	0.43	0.24	0.45	0.11	0.39	1.57
	8~9	0.45	0.27	0.09	0.29	0.04	0.43	1.56
	10~11	0.62	0.39	0.17	0.36	0.06	0.37	1.22
	12~1	0.61	0.35	0.41	0.50	0.91	0.55	1.02
落花 Flower	全年 All the year	0.58	0.35	0.28	0.34	0.06	1.59	1.63

## 2.3 无瓣海桑对土壤元素的富集系数

植物群落的矿物质循环是通过与土壤元素的吸收和归还来实现的,植物对土壤元素的富集能力以富集系数表示。植物的元素富集系数与植物生长与生物量积累对元素的需求量以及土壤中该元素的含量与存在形态密切相关。无瓣海桑对土壤元素的富集系数见表 3。各组分对同一元素的富集系数大小与元素含量大小顺序一致。

根据元素富集系数的加权平均数,无瓣海桑在该生境条件下对各元素的富集能力存在一定差异,大小顺序为 Ca > K > Cu > Na > Mg > Zn > Fe,其中 Ca 最高达 6.78,其中 Ca 在树皮中的富集系数高达 29.56,叶中高达 22.44。Cu 的含量最少,但有较高的富集系数 0.52。Fe 元素的富集系数地下部分明显高于地上部分,地上部分极低的富集系数表明无瓣海桑对 Fe 有一定的抗吸收性,如树干 Fe 的富集系数低至 0.002。

表3 无瓣海桑对土壤(=0~30 cm)元素的富集系数  
Table 3 Elemental accumulation index of *S. apetala* to soil (=0~30 cm)

项目 Item	K	Na	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu
叶 Leaf	1.83	0.70	22.44	0.64	0.04	0.65	1.44
嫩枝 Twigs	1.06	0.38	5.33	0.34	0.02	0.47	1.00
老枝 Perennial branch	0.52	0.17	4.78	0.16	0.003	0.04	0.72
枯枝 Dead branch	0.16	0.09	10.44	0.10	0.01	0.07	1.73
树皮 Bark	1.07	0.50	29.56	0.44	0.05	0.08	0.73
树干 Trunk	0.33	0.12	3.11	0.10	0.002	0.03	0.31
细根 Fine root	2.26	1.33	2.22	1.04	0.49	0.60	0.88
中根 Middle root	1.74	1.25	5.33	0.67	0.38	0.19	0.65
粗根 Big root	1.01	0.46	11.56	0.35	0.23	0.23	0.63
气生根 Aerial root	0.99	0.49	11.44	0.40	0.10	0.19	0.62
树兜 Underground trunk	0.46	0.19	3.00	0.35	0.05	0.23	0.63
加权平均 Weighted mean	0.62	0.26	9.70	0.23	0.05	0.12	0.54

#### 2.4 无瓣海桑群落现存生物量中元素的累积储量及分布

表4为通过植物体各组分元素含量与各组分的生物量的积计算得出的无瓣海桑群落现存生物量中K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu元素的累积储量及分布。该群落的K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu累积储量分别为 $109.76 \text{ g m}^{-2}$ 、 $86.57 \text{ g m}^{-2}$ 、 $138.89 \text{ g m}^{-2}$ 、 $81.07 \text{ g m}^{-2}$ 、 $131.39 \times 10^{-1} \text{ g m}^{-2}$ 、 $48.26 \times 10^{-2} \text{ g m}^{-2}$ 、 $107.62 \times 10^{-3} \text{ g m}^{-2}$ ，其中地上部分与地下部分的分配见图1，除Fe元素有78.69%累积于地下部分，其它6种元素均是地上部分现存累积储量大于地下部分现存累积储量，其中Cu元素有78.13%累积于地上部分。

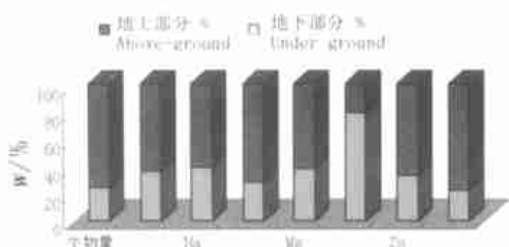


图1 各元素在无瓣海桑植物体地上部分和地下部分的分布  
Fig.1 Elemental distribution in above-ground and underground plant parts of *S. apetala* community

#### 2.5 现存生物量中元素的年存留累积储量及分布

分析结果表明(表5),该人工无瓣海桑群落2001年的元素存留累积储量为:Ca  $41.68 \text{ g m}^{-2}$ ,K  $37.24 \text{ g m}^{-2}$ ,Mg  $27.33 \text{ g m}^{-2}$ ,Na  $25.56 \text{ g m}^{-2}$ ,Fe  $42.75 \times 10^{-1} \text{ g m}^{-2}$ ,Zn  $18.78 \times 10^{-2} \text{ g m}^{-2}$ ,Cu  $38.95 \times 10^{-3} \text{ g m}^{-2}$ 。其中K、Na、Ca、Mg、Fe以树根存留累积储量最大,Zn、Cu以嫩枝存留累积储量最大;树根中K占其总量的24.92%,嫩枝占27.93%;树根中Na占其总量的32.86%,树干占

24.37%;树根中Ca占其总量的23.51%,树干占27.90%;树根中Mg占其总量的28.14%,嫩枝为27.11%;树根中Fe占其总量的71.23%,嫩枝为10.67%;嫩枝中Zn占其总量的56.18%,树根为22.84%;嫩枝中Cu占其总量的31.84%,树根为15.94%。除了Na和Fe元素较多地累积于地下部分外,其它元素均较多地累积于地上部分(表5)。

#### 2.6 元素的年归还量、年吸收量与周转期

这里的年归还量指年凋落物元素总量,未包括被雨水淋溶掉的元素,也未计入死根中的元素,因而本结果略低于实际值。根据2001年2月至2002年1月凋落物中叶、枝、花、果组分的元素含量(表2)和年凋落物单位面积收集总量(表6)计算,可得出2001年岚北无瓣海桑群落K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu的归还量分别为 $16.83 \text{ g m}^{-2}$ 、 $11.58 \text{ g m}^{-2}$ 、 $28.59 \text{ g m}^{-2}$ 、 $12.07 \text{ g m}^{-2}$ 、 $0.916 \text{ g m}^{-2}$ 、 $0.141 \text{ g m}^{-2}$ 、 $0.026 \text{ g m}^{-2}$ (表6)。

年吸收量为年存留量和年归还量之和,无瓣海桑群落K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu元素的年吸收量分别为 $54.07 \text{ g m}^{-2}$ 、 $37.14 \text{ g m}^{-2}$ 、 $70.27 \text{ g m}^{-2}$ 、 $39.40 \text{ g m}^{-2}$ 、 $5.191 \text{ g m}^{-2}$ 、 $0.329 \text{ g m}^{-2}$ 和 $0.065 \text{ g m}^{-2}$ (表7)。

周转期是指某一元素在群落现存量中的总累积与年凋落物中该元素总量之比率。因此,得出雷州岚北无瓣海桑群落各元素的周转期分别为K 7 a,Na 8 a,Ca 5 a,Mg 7 a,Fe 14 a,Zn 3 a和Cu 4 a(表7)。

### 3 讨论

#### 3.1 无瓣海桑叶片中的元素含量与其它树种的比较

叶子的化学成分在很大程度上反映植物的化学成分特征,因此可据此比较不同植物群落在化学成分特征上的差异<sup>[17,18]</sup>。从表8可知,与海南东寨港海莲(*Bruguiera sexangula*)

la)<sup>[19,20]</sup>、福建九龙江口秋茄 (*Kandelia candel*)<sup>[21]</sup> 和深圳白骨壤 (*Avicennia marina*)<sup>[22]</sup> 等红树林叶中的 K、Na、Ca、Mg、Zn、Cu 元素含量相比,无瓣海桑叶中 K、Na、Ca、Mg、Zn、Cu 分别是海莲林叶的 1.9 倍、1.4 倍、1.0 倍、1.7 倍、1.8 倍和 1.6 倍,分别是红海榄叶的 2.2 倍、0.39 倍、1.8 倍、1.6 倍、2.2 倍和 6.6 倍,分别是秋茄林叶的 1.4 倍、0.48 倍、2.0 倍、2.3 倍、2.9 倍和 6.3 倍,分别是白骨壤林叶的 1.1 倍、0.45 倍、2.0 倍、1.4 倍、4.5 倍和 2.5 倍,分别是当地乡土红树林优势种叶 K、Na、Ca、Fe、Zn、Cu 的 1.05 倍、0.59 倍、2.04 倍、3.7 倍、7.9 倍和 1.9 倍,分别是当地陆地热带灌丛 K、Na、Ca、Fe 的 1.6 倍、3.8 倍、6.3 倍和 2.4 倍<sup>[17,18]</sup>。这表明与其它红树林群落相比,无瓣海桑叶中 K、Ca、Mg 元素含量相对较高,Na 元素含量相对较低,更有利于叶的光合作用;与当地陆地热带灌丛相比,无瓣海桑叶中 K、Ca、Mg、Na、Fe 元素含量均相对较高。

### 3.2 无瓣海桑群落现存生物量中元素的累积储量与

### 其它红树树种群落的比较

与我国几种红树林比较,无瓣海桑群落现存生物量中 K、Ca、Mg 累积储量较高,Na 的累积储量较低,其中 K 储量分别为海南海莲林、广西红海榄林、福建九龙江口秋茄林的 1.6 倍、2.4 倍和 2.1 倍,略低于深圳白骨壤林;Na 储量分别为上述红树林的 29.3%、30.9%、40.2% 和 79.1%;Ca 储量分别为上述红树林的 42.6%、50.3%、1.8 倍和 1.1 倍;Mg 储量分别为上述红树林的 1.4、1.6、1.5 倍和 2.2 倍(见表 9)。无瓣海桑林现存生物量中 Zn、Cu 储量分别为深圳白骨壤林(56 年生)的现存累积量的 2.5 倍和 2.0 倍<sup>[23]</sup>,分别为福建九龙江口秋茄林的 1.4 倍和 1.3 倍<sup>[24]</sup>,分别为广西红海榄林的 3.3 倍和 3.8 倍<sup>[25]</sup>。无瓣海桑地上与地下部分元素累积储量比率差异以 Fe 元素最小,Cu 元素最大,说明 Fe 元素在地下部分的相对累积储量较高,而 Cu 元素在地上部分的相对累积储量较高,Zn 元素在地上部分的累积储量比地下部分高(表 4)。

表 4 无瓣海桑林元素累积储量及分布 ( $\text{A/g m}^{-2}$ )

Table 4 Total amount of elements in *S. apetala* community ( $\text{A/g m}^{-2}$ )

项目 Item	生物量 Biomass	K	Na	Ca	Mg	Fe ( $\times 10^{-1}$ )	Zn ( $\times 10^{-2}$ )	Cu ( $\times 10^{-3}$ )
叶 Leaf	1107	13.95	9.63	22.36	10.96	9.08	11.40	13.84
w/ %	4.42	12.71	11.12	16.10	13.52	6.91	23.62	12.86
嫩枝 Twigs	1425	10.40	5.27	6.84	7.41	4.56	10.55	12.40
w/ %	5.69	9.48	6.09	4.92	9.14	3.47	21.86	11.52
老枝 Perennial branch	2703	9.73	5.68	11.62	6.75	1.62	1.89	16.76
w/ %	10.79	8.86	6.56	8.37	8.33	1.23	3.92	15.57
枯枝 Dead branch	87	0.97	7.83	0.82	0.13	0.10	0.97	1.31
w/ %	0.35	0.79	9.04	0.59	0.16	0.08	2.01	1.22
树皮 Bark	836	6.19	5.18	22.39	5.68	7.53	1.09	5.27
w/ %	3.34	5.64	5.98	16.12	7.01	5.73	2.26	4.90
树干 Trunk	12779	29.39	19.17	35.78	19.17	5.11	6.39	34.50
w/ %	50.99	26.78	22.14	25.76	23.65	3.89	13.24	32.06
细根 Fine root	225	3.51	3.74	0.46	3.57	21.69	2.14	1.72
w/ %	0.90	3.20	4.32	0.33	4.40	16.51	4.43	1.60
中根 Middle root	579	6.95	7.24	2.78	5.91	43.43	1.74	3.24
w/ %	2.31	6.33	8.36	2.00	7.29	33.05	3.61	3.01
粗根 Big root	22.85	16.00	13.02	23.76	12.34	23.07	8.45	12.57
w/ %	9.12	0.15	15.04	17.11	15.22	17.56	17.51	11.68
气生根 Aerial root	303	2.06	1.85	3.12	1.85	5.64	0.91	1.64
w/ %	1.21	1.88	2.14	2.25	2.28	4.29	1.89	1.52
树兜 Underground trunk	2732	10.61	7.96	8.96	7.30	9.56	2.73	4.37
w/ %	10.90	9.67	9.19	6.45	9.00	7.28	5.66	4.06
地上部分 Above-ground	18937	70.63	52.76	99.81	50.10	28.00	32.29	84.08
w/ %	75.56	64.35	60.94	71.86	61.80	21.31	66.91	78.13
地下部分 Under ground	6124	39.13	33.81	39.08	30.97	103.39	15.97	23.54
w/ %	24.44	35.65	39.06	28.14	38.20	78.69	33.09	21.87
合计 Total	29134	109.76	86.57	138.89	81.07	131.39	48.26	107.62
w/ %	100	100	100	100	100	100	100	100

表5 无瓣海桑中元素年累积储量及分布 ( $\text{A/g m}^{-2}$ )Tab 5 Annual retention of elements in organs of *S. apetala* community ( $\text{A/g m}^{-2}$ )

项目 Item	生物量 Biomass	K	Na	Ca	Mg	Fe ( $\times 10^{-1}$ )	Zn ( $\times 10^{-2}$ )	Cu ( $\times 10^{-3}$ )
嫩枝 Twigs	1425	10.40	5.27	6.84	7.41	4.56	10.55	12.40
w/ %	16.35	27.93	20.62	16.41	27.11	10.67	56.18	31.84
老枝 Perennial branch	878	3.16	1.84	3.78	2.20	0.52	0.62	5.54
w/ %	10.07	8.49	7.20	9.07	80.50	1.22	3.30	14.22
树皮 Bark	272	2.01	1.69	7.23	1.85	2.45	0.35	2.06
w/ %	3.12	5.40	6.61	17.35	6.77	5.73	1.86	5.29
树干 Trunk	4153	9.55	6.23	11.63	6.23	1.66	2.08	11.21
w/ %	47.64	25.64	24.37	27.90	22.80	3.88	11.08	28.78
树兜 Underground trunk	10.19	7.63	8.33	5.76	7.14	7.27	4.74	3.93
w/ %	10.74	7.27	7.46	5.35	6.73	5.19	4.68	3.80
树根 Root	1102	9.28	8.40	9.80	7.69	30.45	4.29	6.21
w/ %	12.64	24.92	32.86	23.51	28.14	71.23	22.84	15.94
地上部分 Above-ground	6728	25.12	15.03	29.48	17.69	9.19	13.60	31.21
w/ %	77.17	67.45	58.80	70.73	64.73	21.50	72.42	80.13
地下部分 Under ground	1990	12.12	10.53	12.20	9.64	33.56	5.18	7.74
w/ %	22.83	32.55	41.20	29.27	35.27	78.50	27.58	19.87
合计 Total	8718	37.24	25.56	41.68	27.33	42.75	18.78	38.95
w/ %	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

表6 无瓣海桑凋落物的元素归还量 ( $\text{A/g m}^{-2}$ )Tab 6 Yearly return amount of elements in litter in *S. apetala* community ( $\text{A/g m}^{-2}$ )

凋落物 Litter	K	Na	Ca	Mg	Fe ( $\times 10^{-1}$ )	Zn ( $\times 10^{-2}$ )	Cu ( $\times 10^{-3}$ )
落叶 Leaf	12.31	8.67	24.44	9.96	7.79	9.71	12.21
落枝 Branch	1.39	0.99	3.14	0.12	0.83	1.86	4.63
落花 Flower	0.21	0.13	0.10	0.13	0.02	0.58	0.60
落果 Fruit	2.92	1.79	0.91	1.86	0.52	1.93	8.61
合计 Total	16.83	11.58	28.59	12.07	9.16	14.08	26.05

表7 无瓣海桑群落元素的生物循环 ( $\text{A/g m}^{-2} \text{a}^{-1}$ )Table 7 Biological cycling of elements in *S. apetala* community ( $\text{A/g m}^{-2} \text{a}^{-1}$ )

项目 Item	K	Na	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu
吸收量 Absorb amount	54.07	37.14	70.27	39.40	5.191	0.329	0.065
存量量 Retain amount	37.24	25.56	41.68	27.33	4.275	0.188	0.039
归还量 Return amount	16.83	11.58	28.59	12.07	0.916	0.141	0.026
周转期 Turnover period	7 a	8a	5a	7 a	14a	3a	4a

表8 无瓣海桑与其它树种的叶片中的元素含量比较

Table 8 Comparison of elemental content in leaf between *S. apetala* and others

树种 Species	K	Na	Ca	Mg	w (Fe) / $10^{-3}$	w (Zn) / $10^{-4}$	w (Cu) / $10^{-5}$	文献出处 Ref. Cited
	w/ %							
海莲 <i>Bruguiera sexangula</i>	0.67	0.63	1.99	0.59	-	0.56	0.77	[19~20]
红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>	0.57	2.23	1.15	0.61	-	0.47	0.19	[10][25]
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	0.89	1.80	1.03	0.44	-	0.35	0.20	[3][21][25]
白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	1.18	1.95	1.03	0.73	-	0.23	0.51	[22][4]
乡土红树林优势种 Native mangrove	1.20	1.47	0.99	-	0.22	0.13	0.66	[17~18]
当地陆地热带灌丛 Local tropical land shrubs	0.80	0.23	0.32	-	0.34	-	-	[17~18]
无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>	1.26	0.87	2.02	0.99	0.82	1.03	1.25	表1 Table 1

表 9 几种红树林现存生物量中 K、Na、Ca、Mg 累积储量比较 ( $\mu\text{g m}^{-2}$ )  
Table 9 Comparison of the element content in standing mangroves ( $\mu\text{g m}^{-2}$ )

群落 Association	林龄 (t/a)	K	Na	Ca	Mg	资料出处 Ref. cited
海莲林 Ass. <i>B. sexangula</i>	55	66.99	295.13	325.81	59.79	[19~20]
红海榄林 Ass. <i>R. stylosa</i>	70	46.27	279.87	276.32	50.43	[10]
秋茄林 Ass. <i>K. candel</i>	20	53.20	210.04	77.30	52.65	[3][21]
白骨壤林 Ass. <i>A. marina</i>	56	139.43	109.39	125.87	37.13	[22]
无瓣海桑林 Ass. <i>S. apetala</i>	7	109.76	86.57	138.89	81.07	本文表 4

### 3.3 无瓣海桑群落现存生物量中元素的年存留累积储量与其它红树树种群落的比较

与其它红树林群落相比,无瓣海桑林现存生物量中 K、Na、Ca、Mg 元素的年累积存留量 ( $\mu\text{g m}^{-2}$ ) 分别为海南海莲林 (4.06、10.46、13.13、20.0  $\mu\text{g m}^{-2}$ ) 的 9.2 倍、2.4 倍、3.2 倍和 13.7 倍<sup>[19,20]</sup>,分别为福建九龙江口秋茄林 (4.98、19.33、7.16、4.89  $\mu\text{g m}^{-2}$ ) 的 7.5 倍、1.3 倍、5.8 倍和 5.6 倍<sup>[3,21]</sup>,分别是深圳白骨壤林 (12.32、7.98、8.85、2.74  $\mu\text{g m}^{-2}$ ) 的 3.0 倍、3.2 倍、4.7 倍和 10 倍<sup>[22]</sup>;分别是广西红海榄群落年存留量 K (1.67  $\mu\text{g m}^{-2}$ )、Ca (10.83  $\mu\text{g m}^{-2}$ )、Mg (1.39  $\mu\text{g m}^{-2}$ ) 的 22.3 倍、3.8 倍和 19.7 倍<sup>[10]</sup>。无瓣海桑林现存生物量中 Zn、Cu 年累积存留量分别为福建九龙江口秋茄林的 6.2 倍和 4.9 倍<sup>[23]</sup>,分别是深圳白骨壤林的 11.5 倍和 9.6 倍<sup>[24]</sup>,分别是广西红海榄林的 40.0 倍和 46.2 倍<sup>[25]</sup>。

### 3.4 无瓣海桑群落元素年吸收量和周转期与其它红树树种群落的比较

无瓣海桑群落年吸收量与我国其它红树林同元素年吸收量相比,是海南省 55 a 生海莲群落年吸收 K (8.96  $\mu\text{g m}^{-2}$ )、Na (20.44  $\mu\text{g m}^{-2}$ )、Ca (38.20  $\mu\text{g m}^{-2}$ )、Mg (10.04  $\mu\text{g m}^{-2}$ ) 的 6.0 倍、1.8 倍、1.8 倍和 3.9 倍<sup>[19-20]</sup>,为福建秋茄林年吸收 K (10.915  $\mu\text{g m}^{-2}$ )、Na (3.535  $\mu\text{g m}^{-2}$ ) 和 Ca (17.486  $\mu\text{g m}^{-2}$ )、Mg (8.930  $\mu\text{g m}^{-2}$ ) 的 5.0 倍、10.5 倍、4.2 倍和 4.4 倍<sup>[3,21]</sup>,分别是广西红海榄群落年吸收 K (4.46  $\mu\text{g m}^{-2}$ )、Ca (17.46  $\mu\text{g m}^{-2}$ )、Mg (4.81  $\mu\text{g m}^{-2}$ ) 的 12.1 倍、4.0 倍和 8.2 倍<sup>[10]</sup>。Zn、Cu 年吸收量分别为福建九龙江口秋茄林的 6.7 倍和 6.4 倍<sup>[23]</sup>,分别是广西红海榄林的 37.3 和 48.1 倍<sup>[25]</sup>,均说明无瓣海桑群落各元素的年吸收量较高。

在我国的其它红树林中,海南省 55 a 生海莲群落元素周转期为 K 14 a、Na 30 a、Ca 13 a 和 Mg 7 a<sup>[19,20]</sup>;福建 20 a 生秋茄林元素周转期为 K 9 a、Na 13 a、Ca 8 a 和 Mg 13 a<sup>[3,21]</sup>;广西 70 a 生红海榄群落元素周转期为 K 17 a、Ca 42 a 和 Mg 15 a<sup>[25]</sup>。Zn、Cu 周转期在福建九龙江口秋茄林为 18 a 和 40 a<sup>[23]</sup>,在广西红海榄林为 35 a 和 56 a<sup>[25]</sup>。雷州 7 a 生无瓣海桑群落中 7 种元素的周转期均较快,比较特别的是重金属元素 Zn 和 Cu 的周转速度较快,而 Fe 元素的周转速度相对较慢,它们在红树林中的吸收与归还等周转机制有待深入研究。

### 3.5 无瓣海桑群落的速生性与元素循环的相关性

因为无瓣海桑具有速生的特性,表现在该植物元素的吸收与转化上亦具有高累积和快速的特性,大量凋落物的产生使得

各元素的周转期缩短。K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu 元素分析表明,无瓣海桑对这些元素的富集、累积和转移存在差异,表明其选择性吸收特性(表 8),其中以 Ca 在现存生物量中的累积储量、富集系数、年累积储量和年归还量为最高。

从无瓣海桑叶 Na 的含量介于当地热带灌丛与红树林优势种叶 Na 含量水平分析,无瓣海桑应具有对水体盐分一定的适应性范围,其范围介于当地热带灌丛与红树林优势种之间,引种试验表明它可适应于淡水环境<sup>[26]</sup>,也可种植并生长于中低潮线。高的 K、Na、Ca、Mg 等营养元素的含量与周转率提供了其高生产力水平的生物化学基础,但是海水中的盐分含量是其生长的限制因子之一;根据引种试验结果和元素生物循环特征,因此判断,如本研究样地所处的具有长年淡水排放、肥沃的泥沙质土壤环境条件的河口海岸潮间带,是无瓣海桑生长速度最快的环境条件<sup>[27]</sup>。

无瓣海桑较高的 Fe 含量以及在根部较高的富集作用、高产出凋落物中大量 Fe 的归还,使土壤形成丰富的 Fe 源,可促进土壤中黄铁矿的形成,而黄铁矿氧化导致土壤酸化<sup>[28,29]</sup>。无瓣海桑对 Zn、Cu 表现出的较高的富集和快速的周转特性,对解决这两种重金属的污染问题有一定的参考利用价值<sup>[30]</sup>。

### References

- Lee SY. Tropical mangrove ecology: physical and biotic factors influencing ecosystem structure and function. *Austr J Ecol*, 1999, **24**: 355 ~ 366
- Li MS, Lee SY. Mangroves of China: a brief review. *For Ecol & Manag*, 1997, **96**: 241 ~ 259
- Lin P, Chen RH. Studies on the mangrove ecosystem of the Jiulongjiang River Estuary in China III: accumulation and biological cycle of calcium and magnesium in *Kandelia candel* community. *Acta Oceanolog Sin* (海洋学报), 1986, **5**(3): 447 ~ 455
- Lin P, Zheng WJ, Li ZJ. Distribution and accumulation of heavy metals in *Avicennia marina* community in Shenzhen, China. *J Environ Sci*, 1997, **9**(4): 472 ~ 479
- Lin P (林鹏). Mangrove Ecosystem in China. Beijing: Science Press (科学出版社), 1997. 1 ~ 342
- Lin P (林鹏). Mangrove Research Papers (I, II, III, IV). Xiamen: Xiamen University Press (厦门大学出版社), 1990, 1993, 1999, 2000
- Lin P (林鹏). Progress of mangrove studies in China. *J Xiamen Univ (Nat Sci Edit)* (厦门大学学报(自然科学版)), 2001, **40**(2): 592 ~ 603
- 广东省海岸带和海涂资源综合调查大队, 广东省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室. 广东省海岸带和海涂资源综合调查报告. 北京: 海洋出版社, 1987. 9 ~ 138
- Yin Y (尹毅), Fan HQ (范航清), Su XG (苏相洁). Studies on biomass of

- Avicennia marina* community in Guangxi. *J Guangxi Acad Sci* (广西科学院学报), 1993, 9(2) :19 ~ 24
- 10 Yin Y(尹毅), Lin P(林鹏). Biomass and nutrient cycle of *Rhizophora stylosa* forest, China. In: Li Z(李振基). Transactions of Environmental Science and Ecology. Xiamen: Xiamen University Press (厦门大学出版社), 1993. 108 ~ 114
  - 11 Lin P(林鹏), Lu CY(卢昌义), Wang CL(王恭礼), Chen HX(陈焕雄). Biomass and productivity of *Bruguiera sexangula* mangrove forest in Hainan Island, China. 1990, 29(2) :209 ~ 213
  - 12 Yin Y(尹毅), Lin P(林鹏). Study on the litter fall of *Rhizophora stylosa* community in Yinglou Bay, Guangxi. *Guihaina* (广西植物), 1992, 12(4) : 359 ~ 363
  - 13 Lu CY(卢昌义), Zheng HZ(郑逢中), Lin Peng(林鹏). Study on litter fall production of *Kandelia candel* mangrove community in Jiulong Bay estuary. *J Xiamen Univ (Nat Sci Edit)* (厦门大学学报(自然科学版)), 1988, 27(4) :459 ~ 463
  - 14 Lin Peng(林鹏), Lin GH(林光辉). Study on the caloric value and ash content of some mangrove species in China. *Acta Phytocol Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), 1991, 15(2) :114 ~ 120
  - 15 Lin YM(林益明), Zheng MZ(郑茂钟), Lin Peng(林鹏), Li Z(李振基). Leaf caloric value and ash contents of Garden bamboos species. *J Xiamen Univ (Nat Sci Edit)* (厦门大学学报(自然科学版)), 2000, 39(1) :136 ~ 140
  - 16 Nanjing Soil Institute, Academia Sinica(中国科学院南京土壤研究所). Soil Physical and Chemical Analyses. Shanghai: Shanghai Science Press(上海科学出版社), 1978. 1 ~ 591
  - 17 Ho XY(侯学煜). Geography and dominant phytochemical characteristics of vegetations in China. Beijing: Science Press(科学出版社), 1982.
  - 18 Guan DS(管东生), Qin CF(覃朝锋). Biogeochemical characters of mangrove forest in Guangdong and Hainan Provinces. *Trop Subtrop Soil Sci* (热带亚热带土壤科学), 1998, 7(4) :267 ~ 271
  - 19 Lin Peng(林鹏), Lin MX(林明祥). Accumulation and biological cycle of elements Ca and Mg in *Bruguiera sexangula* community of Hainan Island in China. *J Appl Ecol* (应用生态学报), 1990, 1(3) :209 ~ 213
  - 20 Lin Peng(林鹏), He SZ(何书镇). Accumulation and biological cycle of elements K and Na in *Bruguiera sexangula* community of Hainan Island in China. *Acta Phytocol Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), 1990, 14(4) :312 ~ 318
  - 21 Lin Peng(林鹏), Su R(苏麟), Lin QY(林庆扬). Studies on the mangrove ecosystem of Jiulong River estuary in China II: accumulation and biological cycle of potassium and sodium elements in *Kandelia candel* community. *J Ecol*, 1987, 7(2) :102 ~ 110
  - 22 Lin P(林鹏), Zheng WJ(郑文教), Li Z(李振基). Accumulation and distribution of K, Na, Ca and Mg in *Avicennia marina* mangrove community in Shenzhen. In: Rang HY(郎惠卿), Lin P(林鹏), Lu JJ(陆健健) (editors). Research and conservation of wetlands in China. Shanghai: East China Normal University Press(华东师大出版社), 1998. 273 ~ 278
  - 23 Zheng WJ(郑文教), Zheng FZ(郑逢中), Lian YW(连玉武), Lin Peng(林鹏). Accumulation and dynamics of Cu, Pb, Zn and Mn elements in *Kandelia candel* (L.) Druce mangrove community of Jiulong River estuary of Fujian. *Acta Bot Sin* (植物学报), 1996, 38(3) :227 ~ 223
  - 24 Zheng WJ(郑文教), Lin P(林鹏). Accumulation and distribution of Cu, Pb, Zn, Cd in *Avicennia marina* mangrove community of Futian in Shenzhen. *Oceanol Limnol Sin* (海洋与湖沼), 1996, 27(4) :386 ~ 393
  - 25 Zheng WJ(郑文教), Lian YW(连玉武), Zheng FZ(郑逢中), Lin P(林鹏). Accumulation and dynamics of heavy metal elements in *Rhizophora stylosa* community at Yinglou Bay in Guangxi. *Acta Phytocol Sin* (植物生态学报), 1996, 20(1) :20 ~ 27
  - 26 He J(贺健), Chen GZ(陈桂珠), Lou H(罗航). Acclimatization trials on four mangrove species in fresh water. *J Ecol Sci* (生态科学), 1999, (3) : 12 ~ 15
  - 27 Han WD(韩维栋), Gao XM(高秀梅), Teunissen E. Study of *Sonneratia apetala* productivity in restored forests in Leizhou Peninsula, China. *J For Res*, 2001, 12(4) :229 ~ 234
  - 28 Gong ZT(龚子同), Zhang XP(张效朴). Mangrove and acid sulphate soils in China. *J Soil* (土壤学报), 1994, 31(1) :86 ~ 94
  - 29 Han WD(韩维栋), Ling DJ(凌大炯), Li Y(李燕), Wu XF(吴小凤). The soil dynamic study of restored *Sonneratia apetala* plantations. *J Nanjing For Univ (Nat Sci Edit)* (厦门大学学报(自然科学版)), 2003, 27(2) :49 ~ 54
  - 30 Han WD(韩维栋), Gao XM(高秀梅), Lu CY(卢昌义). Mangrove ecosystems and its ecological values. *J For Sci Tech Fujian* (福建林业科技), 2000, (2) :7 ~ 12