

# 中国主要红树林湿地沉积物中硫的分布特征及影响因素

林慧娜,傅娇艳,吴 浩,刘金玲,李柳强,虎贞贞,丁振华

(厦门大学 生命科学学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:**以中国红树林主要分布地区——海南、广东、广西、福建的 13 个红树林区为研究对象,对沉积物中硫的分布特征及相关影响因素进行了分析。中国红树林地区沉积物中硫含量为 0.009%~0.809%,平均含量为 0.214%,远高于非红树林生长地区沉积物中硫的平均含量。海南、广东、广西、福建四省区红树林沉积物中硫的平均含量分别为:0.34%、0.19%、0.20%、0.18%。13 个地区含硫量高低顺序为:三亚、东寨港、云霄、钦州、俄湾、姚家屿、高桥、山口、大冠沙、北仑河口、福田、洛阳桥、浮宫。各个不同红树林地区沉积物中的硫含量差异显著。硫含量与有机质含量、盐度显著正相关,与 pH 值显著负相关。土壤粒度组成以及铁含量对土壤中全硫含量有一定的影响。

**关键词:** 红树林; 硫; 分布; 湿地; 沉积物

中图分类号:P76

文献标识码:A

文章编号:1000-3096(2009)12-0079-04

硫既是生命必需元素,又是环境化学污染元素。红树林是热带、亚热带沿海海湾及河口地区的一种特殊植物群落。红树植物的含硫量通常高达 0.4%,大大高于同地带其他灌木,这一特征深刻影响着林下土壤结构及其性质<sup>[1]</sup>。硫在厌氧环境下容易被还原成  $S^{2-}$ ,  $S^{2-}$  能与沉积物中的多种重金属离子如  $Zn^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Hg^{2+}$  及  $Pb^{2+}$  等形成溶度积很小的金属硫化物,重金属硫化物的沉淀是沉积物固定重金属的主要机制<sup>[2]</sup>。随着城市化的发展,许多红树林被破坏,或者成为环境污染的归宿地。湿地生态系统中硫的生物地球化学过程与碳矿化、水体酸化、黄铁矿的形成、金属元素迁移循环以及大气硫释放等一系列重要生态过程联系在一起,因此受到了广泛的关注。国内许多学者对红树林进行了大量工作,但对硫却鲜有研究,仅见张汝国等<sup>[3,4]</sup>对珠江口红树林中硫循环的研究。海南、广东、广西、福建是我国红树林的主要分布区,共占全国红树林总面积的 94.2%<sup>[5]</sup>。本工作对上述 4 省区 13 个主要红树林分

布区的表层沉积物中硫的分布特征以及 pH、有机质、盐分、沉积物粒度组成、铁含量等影响因素进行了研究。

## 1 研究区域概况

我国红树林分布于海南、广东、广西、福建、浙江及台湾、香港和澳门等 8 省区,主要分布在北部湾海岸和海南东海岸。研究区为我国的主要红树林分布区,包括海南省三亚河、东寨港自然保护区,广东省深圳和湛江红树林国家级自然保护区,广西北仑河口、钦州湾、大冠沙和山口红树林自然保护区,福建省漳江口红树林国家级自然保护区,九龙江口红树林保护区、洛阳桥、鹅湾和姚家屿红树林区。各采样区的基本特征见表 1。

收稿日期:2008-12-28;修回日期:2009-03-26

基金项目:国家自然科学基金项目(40676064,305301502)

作者简介:林慧娜(1983-),女,福建泉州人,研究方向为植物生态学;丁振华,通信作者,E-mail: dzh@xmu.edu.cn

表 1 中国红树林湿地基本特征和硫含量

Tab. 1 Properties of sediments and sulfur content in mangrove wetlands of China

| 地点 (数量)   | 纬度            | 物理砂粒 (%) | 土壤质地 <sup>[6]</sup> | 全硫含量 (%)    | 全硫含量范围 (%)  |
|-----------|---------------|----------|---------------------|-------------|-------------|
| 三亚 (8)    | 18°19'~18°37' | 89.82    | 混合滩                 | 0.356±0.261 | 0.026~0.616 |
| 东寨港 (19)  | 19°51'~20°01' | 83.75    | 混合滩                 | 0.323±0.059 | 0.009~0.661 |
| 深圳福田 (5)  | 22°32'        | 57.10    | 混合滩                 | 0.164±0.030 | 0.110~0.179 |
| 湛江高桥 (10) | 20°14'~21°35' | 68.21    | 混合滩                 | 0.223±0.125 | 0.118~0.490 |
| 山口 (6)    | 21°28'~21°36' | 65.79    | 混合滩                 | 0.204±0.115 | 0.079~0.379 |
| 大冠沙 (17)  | 21°22'~21°30' | 95.46    | 沙滩                  | 0.176±0.044 | 0.01~0.610  |
| 北仑河口 (14) | 21°28'~21°37' | 83.69    | 混合滩                 | 0.165±0.198 | 0.085~0.236 |
| 钦州 (3)    | 21°38'~21°57' | 66.40    | 混合滩                 | 0.265±0.198 | 0.040~0.809 |
| 云霄 (10)   | 23°53'~23°56' | —        | 泥滩                  | 0.284±0.237 | 0.050~0.370 |
| 浮宫 (6)    | 24°25'        | 51.27    | 泥滩                  | 0.044±0.030 | 0.017~0.090 |
| 洛阳桥 (3)   | 24°59'        | 50.17    | 泥滩                  | 0.088±0.125 | 0.087~0.089 |
| 盐田鹅湾 (6)  | 26°52'        | 44.70    | 泥滩                  | 0.247±0.037 | 0.202~0.296 |
| 姚家屿 (8)   | 27°16'        | 55.93    | 混合滩                 | 0.239±0.054 | 0.181~0.333 |

## 2 材料和方法

表层沉积物采用梅花采样法采集,样品现场密封保存,回实验室后自然风干,研磨,过筛,待测。全硫含量通过  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2\text{-BaSO}_4$  比浊法测定<sup>[7]</sup>; pH 值采用电位法测定,水土比 2.5 : 1<sup>[8]</sup>; 土壤粒度采用粒度分析仪分析; 有机质采用水合热重铬酸钾氧化法测定<sup>[9]</sup>; 土壤溶液盐分用电导率仪测定<sup>[10]</sup>; Fe 元素采用 ICP-MS 进行测定; 相关性分析采用统计软件 SPSS 进行分析,利用河系沉积物标准样品 GSD1-3 控制硫含量测试质量。

## 3 结果

我国红树林地区沉积物中的全硫含量范围在 0.009%~0.809%, 平均为 0.207% (表 1)。高于土壤中硫的平均含量 0.07% (范围 0.003%~1%)<sup>[11]</sup>, 也高于同气候带其他陆生木本植物的土壤中全硫含量<sup>[3]</sup>。

对上述 13 个地区沉积物中的全硫含量进行方差分析 ( $F=1.923, P=0.048$ ), 这些地区沉积物中全硫平均含量差异显著。因为各个省份的地理位置、气候条件、土壤质地、红树林生长状况等都存在极大的差异。全硫平均含量高低顺序为: 三亚、东寨港、云霄、钦州、俄湾、姚家屿、高桥、山口、大冠沙、北仑河口、福田、洛阳桥、浮宫。这些地区中, 海南三亚的红树林沉积物中全硫平均含量最高, 达 0.356%, 东寨港次之, 达 0.323%, 福建云霄红树林沉积物中全硫平均含量为 0.284%, 而浮宫最低, 仅为 0.044%。

东寨港为溺谷型海湾, 有珠溪河、桥头河等小溪流注入, 给港内带来大量的沉积物, 使得土壤中的微

生物增多, 从而利于其中的嫌气微生物固定海水中的  $\text{SO}_4^{2-}$ <sup>[1]</sup>, 因此该地土壤中硫含量较高。高桥和山口这两个地区的红树林生长在同一条河的两侧, 红树林沉积物中硫含量接近。广西大冠沙红树林是国内典型的沙质红树林。该地沉积物为砂壤土, 养分和有机质含量低, 不利于硫的富集。同时它是开阔海岸滩土, 无河流注入, 不利于沉积物的聚集, 土壤中全硫平均含量较低, 为 0.176%。浮宫红树林属典型的河口红树林, 和主航道的距离很小, 受航运和航道疏浚影响巨大。

## 4 讨论

因为红树植物的种类与分布受纬度影响较大, 随着纬度的提高, 红树植物种类逐渐减少, 所以本文主要探讨有机质、pH 值、盐分、土壤的粒度组成、氧化还原条件 (铁) 等因素对沉积物中硫分布特征的影响。

### 4.1 土壤有机质

有机质是影响沉积物中硫分布的重要因子。全国主要红树林湿地沉积物中有机质含量范围为 1.24%~11.08%, 平均含量为 3.20%。沉积物中全硫含量和有机质含量呈极显著线性相关 ( $P=0.000, r=0.705$ ) (图 1)。红树林在生长过程中, 不断吸收海水和土壤中的硫酸根, 并在体内累积, 使红树植物中硫含量比较高, 每年有大量高硫含量的红树凋落物进入沉积物, 其体内的硫会随大量枯枝落叶归还土壤, 使土壤中硫含量大大增加。此外, 红树林沉积物中的有机质含有较多的 N、S 官能团<sup>[12]</sup>。

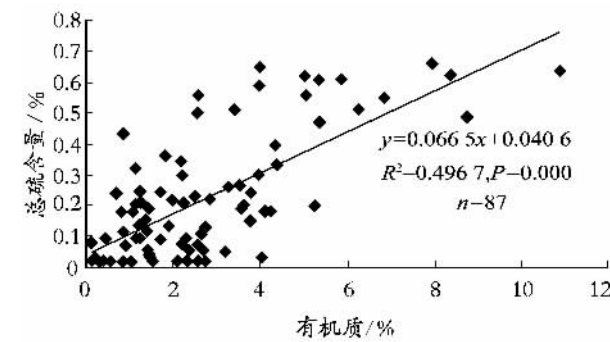


图 1 全硫含量和有机质的相关性

Fig. 1 Correlation between TS concentration and organic-matter

#### 4.2 pH 值

红树林湿地沉积物中 pH 值范围为 2.98~7.5, 平均值是 5.99。光滩的 pH 值显著高于红树林盐土的 pH 值。酸度高是红树林沉积物的一个显著特征。全硫含量和 pH 值呈负线性相关 ( $P=0.012$ ,  $r=-0.333$ ) (图 2)。在一般条件下 pH 值随土壤深度增加而下降, 表层沉积物 (0~20 cm) pH 值明显较高<sup>[13]</sup>。红树林沉积物中硫主要以黄铁矿 ( $\text{FeS}_2$ ) 和硫化亚铁 ( $\text{FeS}$ ) 的形式存在。黄铁矿和硫化亚铁的氧化产生硫酸, 使 pH 值降低; 另一方面红树植物凋落物分解鞣酸等有机酸和  $\text{H}_2\text{S}$ , 也会降低土壤 pH 值。

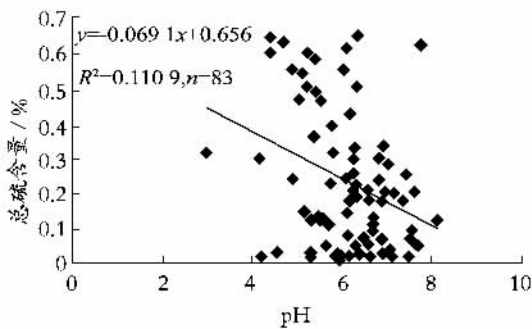


图 2 全硫含量和 pH 值的相关性

Fig. 2 Correlation between TS concentration and pH

#### 4.3 盐度

我国红树林沉积物中的盐度范围为 2.42~23.85, 平均为 10.86。全硫含量与盐度呈显著正相关 (图 5), 同时, 沉积物中有机质含量与盐分含量达到显著正相关 ( $P=0.000$ ,  $r=0.643$ )。红树林是盐生或耐盐植物, 在生长过程中, 红树林强大的根系从土壤和海水中吸收大量盐分累积于体内。红树林体内的 Na 和 Cl 随枯枝落叶回归土壤后, 经微生物分解释放出  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$ , 使土壤盐分含量增加, 尤以枯枝落叶埋藏层明显。红树林强烈的生物积盐作用使红树林沉积物中的盐分明显高于光滩的沉积物, 如

三亚光滩上盐度平均为 5.28, 低于同湿地林内的含量 (8.3)。质地越黏重, 盐度越高。

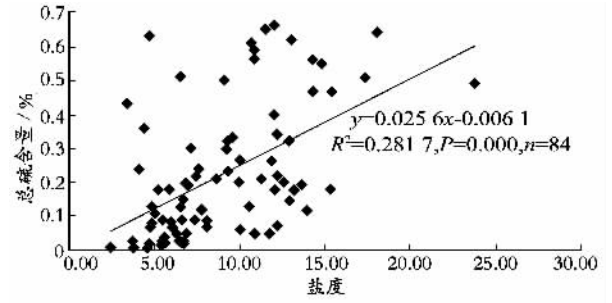


图 3 全硫含量和盐分的相关性

Fig. 3 Correlation between TS concentration and salinity

#### 4.4 沉积物粒度组成的影响

土壤的粒径特征某种程度上决定了土壤的结构和性质, 土壤的机械组成可分为两个粒径组, 即粒径为 0.01~3 mm 的物理砂粒和小于 0.01 mm 的物理黏粒。这 4 个省区中, 土壤质地主要是物理砂粒, 含量在 40.63%~98.72%, 平均含量为 67.59% (表 1)。土壤颗粒越细, 其黏土矿物的含量越高, 使土粒比表面增大, 电荷密度增高, 电荷性增强, 对元素的吸收能力增强<sup>[14]</sup>。沉积物中硫含量与物理砂粒、物理黏粒的相关性不显著, 但呈正相关性趋势。在有机质含量相近的情况下, 凡物理黏粒偏少的土壤, 其总硫含量偏低, 如 YJY-3 和 YJY-4 有机质接近, 但 YJY-3 的物理黏粒含量大于 YJY-4, 相应的 YJY-3 硫含量也较高 (表 2)。

表 2 全硫含量与物理黏粒的关系

Tab. 2 Correlation between TS concentration and physical particles

| 沉积物       | 有机质 (%) | 物理黏粒 (<0.01 mm, %) | 全硫含量 (%) |
|-----------|---------|--------------------|----------|
| 姚家屿 YJY-3 | 1.39    | 44.48              | 0.187    |
| YJY-4     | 1.24    | 48.04              | 0.206    |
| 俄湾 EY-1   | 3.59    | 48.41              | 0.202    |
| EY-3      | 3.49    | 59.38              | 0.260    |
| 三亚 SY-9   | 2.57    | 12.58              | 0.563    |
| SY-25     | 2.69    | 9.34               | 0.115    |
| 山口 SK-4   | 2.36    | 21.51              | 0.056    |
| SK-5      | 2.17    | 36.27              | 0.342    |

#### 4.5 铁

中国红树林湿地沉积物中铁的含量范围为 1.03%~6.28%, 平均含量 2.84%。相关分析结果表明, 红树林沉积物中全硫含量与铁含量相关性不

显著。红树林沉积物中硫除了与铁结合形成黄铁矿和硫铁矿之外,还有以有机硫和单质硫的形式存在<sup>[15]</sup>。

## 5 结论

- (1) 我国主要红树林分布区沉积物中硫含量较高,含量为 0.009%~0.809%,平均含量为 0.214%。
- (2) 红树林分布区沉积物中全硫含量与 pH 值呈显著负相关,随着 pH 值的升高而降低;而与有机质含量、盐度呈显著正相关。沉积物粒径分布对全硫含量有一定影响,但相关性不显著。

### 参考文献:

- [1] 龚子同, 张效朴. 中国的红树林与酸性硫酸盐土 [J]. 土壤学报, 1994, 31(21): 86-93.
- [2] 王文卿, 林鹏. 红树林生态系统重金属污染的研究 [J]. 海洋科学, 1999, 3: 45-48.
- [3] 张汝国. 珠江口红树林硫的累积和循环研究 [J]. 热带亚热带土壤科学, 1996, 5(2): 67-73.
- [4] 林初夏. 国际酸性硫酸盐土研究及其进展 [J]. 土壤学进展, 1995, 23(3): 1-11.
- [5] 王文卿, 王瑁. 中国红树林 [M]. 北京: 科学出版社,

2007. 63-68.
- [6] 刘金铃, 丁振华, 李柳强, 等. 中国主要红树林区沉积物粒度分布特征 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2008, 47(6): 891-893.
- [7] 傅娇艳, 丁振华, 吴彦慙, 等. 硫酸钡分光光度比浊法测定高硫环境样品 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2007, 46, 880-883.
- [8] 李西开. 土壤农业化学常规分析法 [M]. 北京: 科学出版社, 1983. 47, 50-52.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社. 1987. 61-65.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 30-34, 179-186.
- [11] Lindsay W L. Chemical Equilibria in Soil [M]. New York: John Wiley & Sons. 1979.
- [12] 林鹏, 陈荣华. 红树林有机碎屑在河口生态系统中的作用 [J]. 生态学杂志, 1991, 10(2): 45-48.
- [13] 缪绅裕, 陈桂珠. 模拟条件下排污对红树林理化特性的影响 [J]. 土壤, 1995, 2: 70-74.
- [14] 史崇文, 赵玲芝. 山西省土壤元素背景值的分布规律及其影响因素 [J]. 农业环境保护, 1996, 15(1): 24-28.
- [15] 章家恩, 骆世明. 酸性硫酸盐土中硫的形态与酸性表现探讨 [J]. 华南农业大学学报, 1999, 20(2): 70-74.

# Distribution and influential factors of sulfur in mangrove wetlands in China

LIN Hui-na, FU Jiao-yan, WU Hao, LIU Jin-ling, LI Liu-qiang, HU Zhen-zhen, DING Zhen-hua

(School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Received: Dec. , 28, 2008

**Key words:** mangrove; sulfur; distribution; wetlands; sediment

**Abstract:** Thirteen important mangrove areas including Hainan, Guangdong, Guangxi, Fujian were studied, and distribution and influential factors of sulfur were discussed. Total Sulfur (TS) content ranged 0.009%~0.809%, with an average value of 0.214%, which was much higher than that in the sediments without mangrove. The TS concentrations in Hainan, Guangdong, Guangxi and Fujian were: 0.34%, 0.19%, 0.20% and 0.18% respectively. The order of TS concentration in sediments of these mangrove wetlands decreased: Sanya>Dongzhagang>Yunxiao>Qinzhou>Ewan>Yaojiayu>Gaoqiao>Shankou>Daguansha>Beilunhekou>Futian>Luoyangqiao>Fugong. Organic matter and salinity correlated significantly with the TS concentration in sediments; pH correlated negatively with the TS concentration. Size fraction and iron content also influenced TS concentration in sediments.

(本文编辑:康亦兼)