

# 中国的红树林与酸性硫酸盐土

龚子同 张效朴

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

## 摘 要

红树林及由红树林沼泽发育的酸性硫酸盐土在我国约有 10.6 万公顷。红树的主要生化特点之一是其化学组成中硫含量很高,平均达 0.4% 左右,大大高于同地带其它灌木(0.1% 左右),这一特征深刻地影响着土壤发生及其性质。当红树林残体被埋藏而分解后,有大量的硫进入土壤,从而使土壤具有含硫层。该层全 S 含量多在 0.3% 以上,表层土壤也在 0.2% 左右,而一般热带地区酸性土只有 0.04% 左右。土壤地下水中  $\text{SO}_4^{2-}$  约为入海河口海水中的 10—20 倍,也是这类土壤硫主要来源于红树林等生物体对海水中硫的富集的一个佐证。当土壤围垦而脱水后,硫化物遭氧化而生成大量硫酸,致使土壤呈强酸性,含 S 层最低 pH 值可达 2.2,大量的铝活化析出,严重危害作物生长。

我们把红树埋藏层(含硫层)作为诊断层,并根据本研究结果对该诊断层的指标进行了修改。按照其埋藏深度、pH 和含 S 量将这类土壤续分为上位(<25cm)、中位(25—45cm)和下位(45—70cm)三种类型。

为改善这类土壤的生态条件,保护生态环境,可针对硫在不同氧化还原条件下的化学行为进行改良,如垦植种蔗,泡水压“酸”,蓄淡洗“酸”等;也可针对含硫层浅、土壤易酸化的特点进行改良,如填土隔“酸”,施石灰或磷矿粉中和酸,选择耐酸品种等;还可因地制宜发展适应性种植及建设红树林保护区等。

**关键词** 红树林,酸性硫酸盐土,含硫层

红树林是热带、亚热带沿海海湾及河口区海滩上生长的一种特殊类型的生物群落,而红树残体埋藏后发育的土壤则是一种特殊类型的称为酸性硫酸盐土壤。这类土壤以其具有红树埋藏层及干旱时易反酸为主要特征。在我国,这类土壤约有 10.6 万公顷,其中的大部分于几十年、甚至一两百年前即被开垦种植水稻,因而发育成酸性硫酸盐水稻土,过去称为酸性盐渍水稻土,当地则称为咸酸田、磺酸田、反酸田等<sup>[1,2]</sup>。有关的研究已有不少报道<sup>[3-6,8,10]</sup>,本文是在已有工作的基础上,在 1991 年对广东台山、珠海、海康、徐闻和海南省的三江农场及文昌等地进行实地考察,并对 20 多个剖面进行了进一步的研究后,着重就红树林与土壤生态系统的关系加以讨论。

## 一、红树林的特点

### (一) 红树的种类

我国南海沿岸的滨海河口三角洲及新老静水海湾,诸如广东、广西、海南、福建、台湾等省(区)的珠江三角洲,钦江及韩江的人海河口,湛江通明海海湾,海南岛的东部、北部及

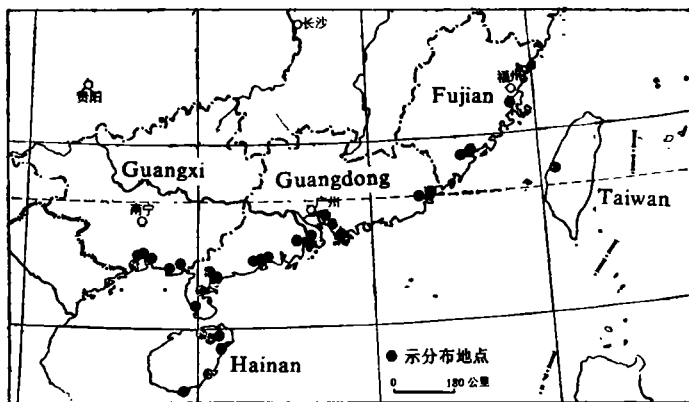


图 1 我国的红树林和酸性硫酸盐土壤分布示意图

Fig. 1 The sketch map of the distribution of mangrove and acid sulphate soils in China

台湾西部海岸, 总面积约 10.6 万公顷的土地上, 生长着或曾生长过一类硬叶常绿的红树类灌木, 其下发育着酸性硫酸盐土 (图 1)。

红树林是这类植物的总称, 其中包括白骨壤 (*Avicennia marina*)、红树 (*Rhizophora apiculata*)、桐花树 (*Aegiceras Corniculata*)、秋茄树 (*Kandelia candel*)、木榄树 (*Bruguiera Conjugata*)、老鼠勒 (*Acanthus ilicifolius*)、角果木 (*Ceriops tagal*)、海芒果 (*Cerbera manghas*)、海漆 (*Excoecaria agallocha*)、红茄冬 (*Rhizophora mucronata*)、假茉莉 (*Clerodendron inerme*)、阔苞菊 (*Pluchea indica*)、苦榔树 (*Clerodendium inerme*) 等一系列灌木植物, 它们分别属于红树科、马鞭草科、紫金牛科、夹竹桃科及爵床科等。

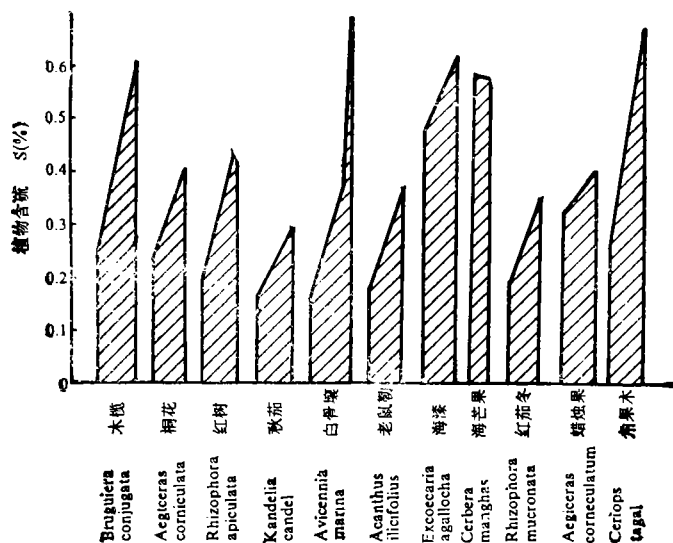


图 2 某些红树植物的含硫状况

Fig. 2 S Contents of some mangrove plants

## (二) 化学组成特点

红树植物以其发达的支柱根和气生根从海水和海滩淤泥中吸收各种矿质营养,因此海水的成分在其植物的化学组成中有所反映。根据对我国南海沿岸的 40 多个红树林样品的分析看出,其矿质元素组成的最大特点,除 Na 的含量特别高,大多在 1.4—4.4% 之间,比一般陆地灌木高 10—20 倍外,更突出的是含硫高,全硫含量一般在 0.13—0.95% 之间,平均在 0.40% 左右,而热带亚热带地区的一般灌木类植物含硫量多只有 0.03—0.26%,平均为 0.084%<sup>[4,7]</sup>,前者为后者的 5 倍左右。

同时,红树林中的不同树种植物含硫量差别较大。其中超过平均值的有海漆、海芒果、角果木和阔苞菊等;秋茄、老鼠勒、红茄冬等含硫较低些。但即使同一树种,也可能因树龄和生存环境的不同其含硫量也有差异,有的可以相差一倍(图 2)。

红树及红树林的这些生理、生态特点,无疑将强烈地影响土壤的发生过程及其生态系统。

## 二、酸性硫酸盐土的特点

由于历史上的海退作用或河口沉积物的覆盖,红树林的庞大残体即被埋藏;再经围垦,红树林残体进一步埋藏,从而使其上发育的土壤具有一系列特点。

### (一) 具有含硫层

含硫层是酸性硫酸盐土的诊断层。有的出现部位较高,可在 25cm 以上,有的出现部位较低,如在 70cm 以下。前者对作物生长影响较大,而后者影响较小,尤其在种植水稻的情况下是如此。据统计,这类土壤 70% 以上的红树埋藏层在 25—75cm 之间。该层含硫量一般超过 0.3%,最高可达 2.3%;而表层土壤含硫多在 0.1% 以上,高者可达 0.43%。但据刘崇群分析资料,一般的滨海盐土含硫量仅为 0.034% 左右,至于其它类型水稻土,其含硫量尚不足 0.03%。因此,含硫层可作为酸性硫酸盐土区别于其它类型土壤的诊断层。其诊断特征如下:

- (1) 风干土的 pH (水, 1:1) < 3.8;
- (2) 黄钾铁矾的锈纹锈斑色调为 2.5Y 或更黄,彩度  $\geq 6$ ;
- (3) 硫酸态硫和可氧化态硫的总量  $\geq 0.30\%$ 。

### (二) 硫的形态与分布

酸性硫酸盐土中的硫处于不同形态。其中包括水溶性硫、交换性硫、黄钾铁矾硫、黄铁矿硫、有机硫和元素硫等,它们的总量称为全硫。从表 1 和图 3 可以看出,全硫以含硫层为最高,黄钾铁矾硫也如此。应当指出,酸性硫酸盐土中的硫主要以黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )和黄钾铁矾 [ $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ] 或钠铁矾 [ $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ]<sup>[9]</sup> 的形态存在。诚然,在不同的土壤环境条件下,或同一土壤的不同层次,这些形态硫所占比例差别很大。黄铁矿态硫高者可占全硫的 90% 以上,黄钾铁矾态硫最高也可占全硫量的 80% 左右。前者在所有层次皆可出现,而以下层居多,后者主要出现在含硫层;前者生成于厌气条件下,后者则主要生成于通气较好的条件下。

### (三) 硫与土壤酸度

表 1 酸性硫酸盐土壤酸度与几种形态硫含量状况\*\*

Table 1 The status of acidity and the contents of various S in acid sulphate soils

标本数 Num. of Samples	层 次 Soil layer	pH (H <sub>2</sub> O, 1:1)	S(%)					交换性硫	
			全 硫 T-S*	黄钾铁矾硫 J-S*	交换性硫 E-S*	水溶性硫 W-S*	总 量 Sum	交换性铝 Exch.-Al	
9	A	3.49—4.85	0.064—0.436	0—0.015	0.001—0.017	0.008—0.076	0.88—15.1	0.36—13.8	
6	Bj	2.16—3.90	0.324—1.78	0.183—0.825	0.025—0.161	0.013—0.114	5.06—24.0	4.49—15.4	
6	Bg	3.38—6.65	0.289—0.98	0—0.011	0.029—0.098	0.004—0.070	0.16—8.37	0.10—7.30	

\* T-S: total S, J-S: Jarosite-S, E-S: Exch. -S, W-S: Water soluble-S

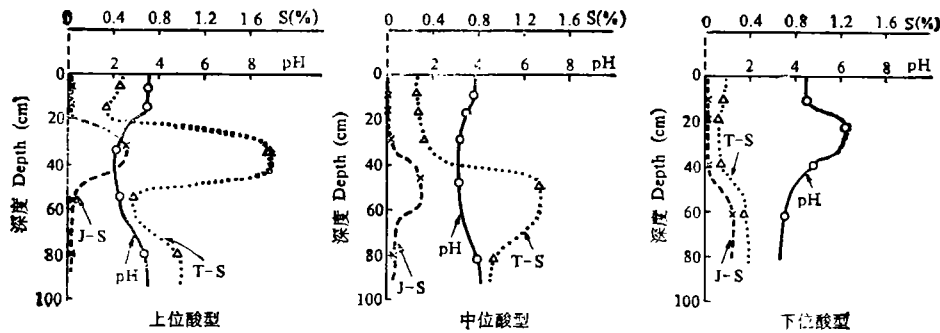
\*\* 土壤分析由过兴度、张连弟、曹淑卿、邓西海等同志负责。

表 2 酸性硫酸盐土壤某些化学性质的相互关系 (r 值, n = 34)\*

Table 2 The interrelations among some chemical properties of acid sulphate soils

项 目 Item	(1) pH	(2) 交换性酸 Exch. acidity	(3) 交换性铝 Exch. Al	(4) 全 S Total S	(5) 黄钾铁矾 S Jarosite-S	(6) 水溶性 S Water soluble S	(7) 交换性 S Exch. S	(8) 有机质 O.M.
(1) pH	1.00							
(2) 交换性酸	-0.791**	1.00						
(3) 交换性铝	-0.757**	0.979**	1.00					
(4) 全 S	-0.553**	0.577**	0.516**	1.00				
(5) 黄钾铁矾 S	-0.255	0.231	0.255	0.658**	1.00			
(6) 水溶性 S	-0.591**	0.778**	0.728**	0.620**	0.163	1.00		
(7) 交换性 S	-0.482**	0.560**	0.542**	0.428*	0.308	0.579**	1.00	
(8) 有机质	-0.497**	0.413*	0.397*	0.633**	0.367*	0.399*	0.435*	1.00

\* 注: 包括 9 个剖面几个不同层次的测定值。



注: T-S 表示全硫, J-S 表示黄钾铁矾硫

图 3 不同类型酸性硫酸盐土壤 pH、全 S 及黄钾铁矾 S 的剖面分布

Fig. 3 The distribution of pH, total S and Jarosite-S in the profiles of different types of acid sulphate soils

硫的含量对土壤酸度影响很大。从图 4 可以看出,酸性硫酸盐土的耕层土壤 pH 与其全硫含量间关系极为密切,即随着土壤含硫量的增加,土壤 pH 呈对数曲线下降,相关系数达极显著水平。同样,交换性酸及交换性铝与水溶性硫和全硫相关系数极显著,水溶性硫及黄钾铁矾硫与全硫间的相关系数也极显著(表 2)。这说明土壤中的硫,特别是可氧化的硫化物如黄铁矿、黄钾铁矾等,在土壤脱水通气氧化后产生大量硫酸,致使土壤酸化,土壤 pH 急剧下降,大量的铝活化析出,从而给作物生长造成严重危害。

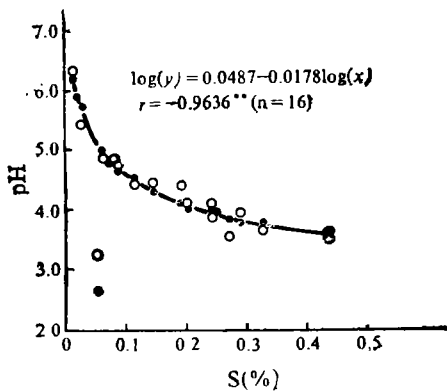


图 4 酸性硫酸盐土壤耕层 pH 与全硫含量的关系

Fig. 4 The relation between pH and total S in the cultivated layers of acid sulphate soils

### 三、红树林对酸性硫酸盐土的影响

红树林和酸性硫酸盐土是一个生态系统的两个组成部分,没有红树林就没有酸性硫酸盐土。

#### (一) 硫的来源

众所周知,酸性硫酸盐土富含硫。但对其硫的来源和途径有不同看法。有人认为来自海水。但从对入海口海水和酸性硫酸盐土的地下水化学组成分析对比中可见,前者  $SO_4^{2-}$  一般只有  $5-8\text{cmol}(1/2 SO_4^{2-})/L$ , 且  $Cl^- > SO_4^{2-}$ ; 而后者高达  $24-160\text{cmol}(1/2 SO_4^{2-})/L$ , 且  $SO_4^{2-} > Cl^-$ , 后者  $SO_4^{2-}$  含量为前者的 8—20 倍。再者,酸性硫酸盐土与滨海盐土虽然同处滨海,同受海水的作用和影响,而土壤中的含硫量却大不相同,前者高于后者 6—40 倍。由此可见,酸性硫酸盐土中的硫主要不是直接来自海水,而是经过生物富集的结果,红树林正是这种硫的富集者。红树林的根茎叶都很繁茂,且每年落叶 2—3 次,这些残落物年复一年地归还土壤,从而使其由海水中吸收的硫通过红树林植体,特别是红树残体被埋藏而回归土壤,致使土壤中富集了硫。除红树林外,海洋生物对海水中  $SO_4^{2-}$  的富

表 3 不同类型酸性硫酸盐土壤的某些化学性质

Table 3 Some chemical properties of different types of acid sulphate soils

缘分类型 Type of acid position	剖面号与 采样地点 Profile No. and locality	层次 Soil layer	深度 Depth (cm)	pH		S(%)				交换性酸[cmol(+)/kg] Exch. acidity			C/S	总盐度 Total salt (%)
				水 (H <sub>2</sub> O) (1:1)	盐 (KCl) (1:2.5)	T-S	J-S	W-S	E-S	总酸度 Sum.	H	Al		
上位 Upper	GTS-1 (台山县 冲葵乡)	A	0-10	3.52	3.51	0.436	0.007	0.076	0.077	15.05	1.27	13.78	6.54	0.845
		P	10-20	3.46	3.35	0.334	0.0	0.041	0.123	12.31	1.28	11.03	6.38	0.431
		Bs	20-47	2.16	2.24	1.783	0.464	0.114	0.161	23.99	8.63	15.36	1.76	1.405
		Bs	47-65	2.25	2.30	0.562	0.011	0.025	0.078	7.71	5.04	2.67	2.15	0.548
		G	65-100	3.38	3.43	0.982	0.0	0.019	0.007	1.75	0.57	1.18	0.94	0.190
中位 Middle	GTS-3 (台山县 冲葵乡)	A	0-12	3.94	3.88	0.289	0.0	0.040	0.063	6.98	0.59	6.39	10.72	0.400
		P	12-17	3.70	3.52	0.261	0.0	0.031	0.069	8.59	1.14	7.45	8.25	0.332
		B	17-35	3.40	3.24	0.296	0.002	0.053	0.139	10.72	1.25	9.47	6.39	0.468
		Bs	35-80	3.35	3.23	1.344	0.306	0.070	0.098	11.62	1.42	10.20	1.62	0.633
下位 Lower	GHS-1 (海康县 沈扩乡)	A	0-15	4.50	3.62	0.114	0.002	0.025	0.009	0.88	0.52	0.36	12.09	0.498
		P	15-18	6.31	5.45	0.038	0.0	0.012	0.013	0.03	0.0	0.03	18.67	0.250
		B	18-45	4.78	4.05	0.054	0.0	0.021	0.004	1.23	0.67	0.56	8.32	0.395
		Bs	45-90	3.90	3.26	0.324	0.235	0.047	0.031	5.06	0.57	4.49	2.93	1.040

注: T-S 示全硫, J-S 示黄钾铁矾硫, W-S 示水溶性硫, E-S 示交换性硫。

集也有作用,当然也不排除通过海洋自生作用形成黄铁矿等矿物积累于土壤之中。但正如 Pons 所指出<sup>[11]</sup>,黄铁矿的生成需要有  $\text{SO}_4^{2-}$ 、铁和有机物质以及嫌气性微生物的存在。而红树林的存在正可为此提供必要条件。因此,在一般情况下,酸性硫酸盐土中黄铁矿的生成也离不开红树林。Hidenori Wada 等通过对红树林残体薄片观察和 X-射线分析,更进一步证明黄铁矿的生成与红树林密切相关<sup>[12]</sup>。总之,红树林的生物富集作用是这类土壤含硫量高的主要来源。

## (二) 酸性硫酸盐土的演化

酸性硫酸盐土的演化与含硫层的位置及含硫量等因素有关。例如:

上位酸性硫酸盐土:含硫层出现在 25cm 以内,耕层全 S 含量  $>0.2\%$ ,风干土 pH  $< 4.0$ ;作物受害严重;

中位酸性硫酸盐土:含硫层出现在 25—45cm 内;耕层全 S 含量  $>0.1\%$ ,风干土 pH  $< 4.5$ ;作物受害中等;

下位酸性硫酸盐土:含硫层出现在 45—70cm;耕层全 S 含量  $>0.05\%$ ,风干土 pH  $< 5.0$ ;作物受害较轻。

不同类型酸性硫酸盐土的性质举例列于表 3。其中, C/S 比越低,说明矿质 S 含量越高或有机 C 较少。一般地说,上位者表层 C/S 比值较小,而下位者 C/S 比值较大;红树林埋藏层 C/S 比小,而耕作层的 C/S 比值较大。如表 3 所示, GTS-1 剖面含硫层出现在 20—47cm,不但含硫层土壤 pH 低至 2.16,耕层土壤 pH 也只有 3.5,耕层和含硫层的总酸度分别高达 15.0 和 24.0  $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ ,交换性 Al 分别高达 13.8 和 15.4  $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ ,耕层 C/S 比只有 6.5,盐分高达 0.8%,属上位酸性硫酸盐土;1991 年由于干旱,反酸严重,曾三次种稻,皆未获收成。GTS-3 剖面,含硫层出现在 35cm 以下,土壤总酸度、全 S 含量等各项指标都略低于前一剖面,在通常年份若水分管理得当,可有收成,属中位酸性硫酸盐土。而 GHS-1 剖面,含硫层出现在 45cm 以下,耕层土壤 pH 已不很低,只要在干旱季节注意水分管理,可有中等量的收成,属下位酸性硫酸盐土。

不同类型酸性硫酸盐土也可能发生变化。例如中国南海河口地区,由于实行淤灌或施用河泥从而使覆盖土层加厚,有些地方每年可加厚 0.25—0.5cm,所以,随着开垦年限的延长,红树埋藏层有可能逐渐变深,酸性硫酸盐土因之可能由上位的变成中位的甚至下位的。

## (三) 因土改良利用

(1) 首先应针对硫在不同氧化还原条件下的化学行为进行改良。众所周知,硫在还原条件下还原成低价  $\text{S}^{2-}$ ,而在氧化条件下则氧化成高价  $\text{SO}_4^{2-}$ ,后者使土壤呈强酸性。因此,控制土壤氧化还原条件是改良这类土壤,使其适于农业生产的重要措施,如种植水稻,并经常保持水层,防止氧化;以及泡水压“酸”、蓄淡洗“酸”等。

(2) 其次是针对含硫层浅和土壤易酸化的特点采取改良措施,如填土隔“酸”;施用石灰制“酸”;施用磷矿粉既制“酸”又补磷;铲秧防“酸”;以及选用耐酸品种,如耐酸的水稻品种汕优 6 号;和发展适应性种植,如在水稻难以生长的地区种植既耐酸又耐盐的椰子树和菠萝等经济作物,以增加经济收入等;有的则可挖鱼池,以养鱼养虾。

(3) 综合开发利用:近百年来,经过多次大规模围垦,我国南方现有的红树林面积已

很小,只有局部或零星地分布了。人们已越来越认识到,红树林不仅能防护海岸免受海水强烈冲刷,有利于泥沙沉积,而且其中的某些树种乃是中药材及工业原料,有的速生树种则可作建筑用材。因此,目前我国不少地区已明令禁止围垦红树林,并将建设、更新和发展红树林保护区。又因红树林特有的形态和优美的环境,一些地方,例如海南省文昌县,已经或正在建设红树林保护区兼作游览地,发展旅游,此乃一条保护自然资源、美化和利用生态环境的好途径。

### 参 考 文 献

1. 龚子同、周瑞荣,1964: 强酸性盐渍水稻土的发生。土壤学报,第12卷第2期,183—191。
2. 张俊民、石华、龚子同、韦启番,1958: 广东省西部滨海反酸田土壤的初步研究。土壤通报,第1期,19—22页。
3. 黄继茂,1958: 广东滨海强酸性盐渍水稻土(反酸田)化学特性的研究。土壤学报,第6卷第2期,114—122。
4. 黄宇年、陆发熹,1988: 广东咸酸田土壤硫化学研究。土壤学报,第25卷第2期,103—109。
5. 熊毅、李庆远主编,1987: 中国土壤。597—599页,科学出版社。
6. 龚子同、张效朴,1993: 酸性硫酸盐土的分类探讨。中国土壤系统分类研究进展,科学出版社。
7. 侯学煜著,1982: 中国植被地理及优势植物化学成分。136—150页,科学出版社。
8. 麦荣基,1988: 珠海土壤。98—116页,海南人民出版社。
9. 曹升庚,1992: 水稻土的微形态特征,《中国水稻土》第三章,科学出版社。
10. Wei Qi-fan, 1981: On the Genesis, Characteristics and Utilization of the Acid Sulphate Paddy Soil in China. Proceedings of Symposium on Paddy Soil. 439—443, Science Press, Beijing.
11. Pons, L. J. 1983: Survey, reclamation and lowland agricultural management of acid sulphate soils. Soils and Their Management—A Sino European Perspective 295—304, Edited by M. Edward and W. Thomas Elsevier applied Science London and New York.
12. H. Wada and B. Seiswan 1986: The process of Pyrite formation in mangrove soils. Selected papers of the Dakar Symposium on acid Sulphate Soils, 24—37. H. Dost (Ed.) ILRI publ. 44, Dakar. Senegal.



## MANGROVE AND ACID SULPHATE SOILS IN CHINA

Gong Zitong and Zhang Xiaopu

(*The Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008*)

### Summary

Mangrove and acid sulphate soils developed from mangrove swamp are about 106,000 ha in China. One of the main characteristics of mangrove is the high S content in its chemical composition (generally 0.2%—0.6%, 0.4% on average, much higher than the 0.1% of tropic shrub). The characteristic greatly influences the genesis and nature of the soils. When the remains of mangrove are buried and decomposed, a large amount of S enters the soil, making the kind of soil contain the buried mangrove layer with a high S content. In general, the surface soil is about 0.2% in the content of total S, and the buried mangrove layer is mostly over 0.3%, while other acid soils of tropic region are only about 0.04%. Besides,  $\text{SO}_4^{2-}$  content of the underground water in this kind of soil is 10—20 times as much as that of the sea waters of estuary. And it can also prove that S of the soil chiefly comes from the S of sea water accumulated by mangrove. After the swamp is enclosed and reclaimed, the soil water goes off. Sulphides produce a large amount of sulphate due to oxidization, so the soil reveals strong acidity—the lowest pH can reach 2.2, and lots of Al are activated and separated out. This is very harmful to the growth of plants.

We consider the buried mangrove layer (the S-bearing horizon) as the diagnostic horizon (total S is 0.3% or higher; the pH of dried soil is 3.8; jarosite color value is  $\geq 2.5$  Y) and sub divide the soil into three types according to the appearing depth of the horizon: the shallow (<25cm), the middle (25—45cm) and the deep (45—70cm).

In order to improve the ecological condition of this kind of soils, protect ecological environment and develop economy, we should take some measures to reduce the acidity (Al toxicity) and to prevent acidification of the soils, such as storing fresh water to wash acid, adding soil to separate acid layer, liming to neutralize acid, choosing acid-resisting variety, and applying suitable fertilizers, especially ground phosphate rock, as well as developing suitable planting in line with local conditions (coconuts, pineapples, etc.), digging fishing pools and establishing mangrove protective region and tourist region.

**Key words** Mangrove, Acid sulphate soil, S-bearing layer