

# 塞内加尔比尼奥纳河坝 上河段土壤的特征及利用\*

陈 国 安

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

本文介绍了塞内加尔比尼奥纳河坝上3种主要类型的河谷土壤的形成特点、化学性质与肥力水平。该地区土壤的水溶盐、全硫与硫化物硫的含量以泥炭型酸性硫酸盐土>盐化型酸性硫酸盐土>草甸型酸性硫酸盐土,而pH值则相反。所有土壤具有全硫含量高、pH值低和有机质含量高的特征。严重缺磷及C:N比大,则是它们的主要肥力特征。筑坝围田洗盐,有效利用雨水,合理耕作,科学施用肥料与改良剂,是利用这些土壤必须注意的问题。

比尼奥纳(Bignona)河为塞内加尔南方大河卡萨芒斯(Casamance)河的支流之一,河流流经地区位于北纬12.5°和西经16.5°左右。属于热带海洋性气候,终年高温,年平均气温在27℃左右,降雨量1000—1500毫米,主要集中在6月中旬至10月中旬,而10月中旬至次年6月中旬为旱季。河流总长为66公里,流域面积为760平方公里,上下游高差小,水流缓慢。河口距大西洋55公里。有关整个流域的土壤情况,A.Aubrun<sup>[1]</sup>等人在1986年已有报告。1987年初中国援建的挡潮坝工程在阿菲尼亚姆(A'finium)村附近建成,距河口仅10公里。由于挡潮坝挡住了潮水,使其不能进入坝上河段,因而使河水水质、红树林植被等生态环境发生了一系列变化。

笔者于1990年7月至1991年12月参加由经贸部组织的赴塞内加尔比尼奥纳河水水质调查组,在进行水质调查的同时,对坝上河段土壤进行了一系列调查与研究,现将部分结果总结于后,以供参考。

## 一、土壤类型与形成条件

A.Aubrun<sup>[1]</sup>等人的调查报告中,将比尼奥纳河流域土壤分为7个类型。我们根据植被情况与覆盖层厚度<sup>[2]</sup>,参照A.Aubrun等人的报告,将其分为3个类型,现分述如下:

(一)泥炭型酸性硫酸盐土 主要分布于近期内死亡而被砍伐的红树林迹地,地表残存大量红树残体与树墩,土壤有机质含量很高,一般在100—200g/kg左右,土体比较松软,类似泥炭沼泽。所处海拔高度在0.8—1.2米左右,是河谷滩地海拔最低的部分。建坝前为潮水所淹没,建坝后在雨季为低pH河水所淹没,没有新生植被。整个土壤剖面大多呈灰黑色而夹有棕黄色斑块,并有大量未分解的红树根残体,土体粘滑有臭味。全硫含量在10—40g/kg

\* 本文承姜子同教授指正,徐善焜、田文科同志参加部分野外工作,一并致谢。

或更高。

(二)盐化型酸性硫酸盐土 红树林迹地已被覆盖,覆盖物主要是来自撒哈拉沙漠的风积物以及少量河积物。覆盖层厚度在20—40厘米左右,海拔高度在1.2—1.4米左右,位于潮间带的边缘,建坝前当涨潮时会被潮水淹没,建坝后雨季中后期易为低pH河水淹没。土壤含盐量在旱季0—20厘米为50—60g/kg,但0—3厘米处可达150g/kg左右,表层积盐极为明显。极少生长植物,在远处偶尔有少数盐生植物和雨季短期禾本科杂草生长,土壤剖面一般呈棕灰色,有棕红色锈斑,在埋藏层红树根残体明显,土体较粘滑,pH4.0左右,这种土壤通称“光滩”。

(三)草甸型酸性硫酸盐土 也叫成熟酸性硫酸盐土。所处海拔高度一般为1.4—1.8米左右。一般不被潮水和低pH河水淹没。雨季土壤脱盐过程明显,含盐量通常为5—20g/kg,pH5.0左右。能生长稗草、莎草、野荸荠等杂草。旱季土壤地下水位在1.2—1.5米以下,积盐过程不明显,可以开垦种植水稻<sup>[3]</sup>,有些地方在建坝前已开垦利用多年。这种土壤的形成有两种情况:一是在海拔1.7—1.8米以上的高地,发育形成的旱生草甸土壤,主要杂草有牛鞭草、茅草、野麻等;另一种是以水生植物为主的季节性沼泽地,水深在20—40厘米左右。它的形成主要是光滩高处的盐生植物。旱季阻挡了由撒哈拉沙漠吹来的风沙,形成天然的圩埂,久而久之,便成了四周高中间低的碟形洼地。在雨季,圩埂挡住了地表径流,圩内土壤迅速脱盐,生长着野荸荠、莎草、野睡莲、三稜草、鸭舌草等杂草。表层土壤有机质含量在30—50g/kg,形成典型的季节性沼泽草甸土壤。红树根埋藏层在65厘米以下,受酸的影响不明显。1990—1991年我们在这类土壤上种植水稻,产量达到3—5吨/公顷。

当然,上述3种类型土壤之间,还有发育程度的不同以及过渡类型,如盐化型与草甸型之间的盐生草地,季节性短期稀疏草地等,但它们都很快过渡到草甸型土壤。

## 二、土壤化学性质与养分状况

比尼奥纳河坝上河段土壤为发育程度不同的酸性硫酸盐土,低pH值,硫含量高和较高的水溶盐是土壤的基本特点(表1)。由表1可见,0—20厘米土壤的水溶盐、全硫含量都

表1 几种土壤的化学性质 (0—20厘米,g/kg)

土 壤	pH(水提)	水溶盐	全溶	有机质	速效磷(mg/kg-P)
泥炭型酸性硫酸盐土	3.26(10)*	47.9	11.8	162	5.5
盐化型酸性硫酸盐土	4.72(7)	30.4	9.69	26.3	3.9
草甸型酸性硫酸盐土	5.07(7)	6.4	1.38	58.0	5.7

\* ( )中数字为标本数。

是泥炭型酸性硫酸盐土>盐化型酸性硫酸盐土>草甸型酸性硫酸盐土,而pH值则相反。每种土壤的全硫含量都很高,如泥炭型酸性硫酸盐土平均为11.8g/kg,而在一些剖面的下层达到40.0g/kg以上(见表4),在Marius<sup>[4]</sup>的报告中有的一些层次全硫高达60—90g/kg。一般热带土壤全硫含量大多在0.1—0.3g/kg之间<sup>[5]</sup>,个别有机物含量高的也只有0.5g/kg左右。因此,泥炭型酸性硫酸盐土的全硫量为普通热带土壤的20—80倍左右,高的可达900倍。这是由于土壤中除了硫酸盐硫和有机硫以外,还含有大量的硫化物硫,主要是硫化铁(FeS<sub>2</sub>)和黄

钾铁矾[ $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ ]，高含量的硫化物是使土壤pH呈强酸性反应的主要原因，由于硫化物变化的复杂性，也就使这种土壤改良利用比较困难。

根据热带土壤硫组成的特点和C:N:S的比例<sup>[6,7]</sup>，以及Marius<sup>[4]</sup>列出的酸性硫酸盐土的C:N比，我们估算出了3种土壤有机硫与硫化物硫的含量，表2列出了3种土壤的硫组成。

表2 三种土壤硫组成与普通热带土壤的比较 (0—20厘米, g/kg)

土 壤	全硫	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S	有机C	有机S	硫化物硫(S <sup>2-</sup> )	S <sup>2-</sup> /全硫 × 100
草甸型酸性硫酸盐土	1.55	0.34	43.9	0.21	1.0	64.5
盐化型酸性硫酸盐土	12.4	3.80	12.5	0.10	8.5	68.7
泥炭型酸性硫酸盐土	28.5	13.1	120	0.60	14.8	51.9
普通热带土壤	0.1—0.5	0.01—0.03	10—20	0.1—0.4	极少	—

由表2可见，硫酸盐土壤的含硫组成与普通热带土壤有显著差异，前者以SO<sub>4</sub>类和硫化物硫为主，而后者以有机硫为主<sup>[6, 7]</sup>。较多的SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S主要是长期海潮作用的结果，而大量的硫化物是潮水中的SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和红树残体中的硫，在红树林植被形成的强还原条件下与二价铁结合而成的。

如表1所示，土壤的养分特征首先是严重缺磷，有效磷(P)平均小于6.0mg/kg。由于红树林残体及生草过程的影响，土壤有机质含量比较高，但据Marius<sup>[4]</sup>资料，土壤C:N比较大，在15—30之间，因此氮的有效性较差。土壤钾的含量，据A. Aubrun<sup>[1]</sup>等报告，水溶性钾一般为12.4—46.2mg/kg，在种植水稻时，是否要施钾肥尚需进一步研究。

### 三、土壤盐分和pH的时间与剖面变化

塞内加尔位于大西洋东岸，撒哈拉大沙漠的西缘，一年中旱季、雨季分明，因降雨和蒸发引起河水、土壤地下水与地表水的变化，直接影响土壤中盐分的积累与淋洗、硫化物的氧化与还原等物理化学过程，因而土壤盐分与pH表现出明显的时空变化。

雨季由于大量淡水的补充，土体中以下行水流为主，盐分以淋洗为主。同时，坝上河段有部分土壤处于淹水状态，因此土壤盐分明显下降，同样，雨水淋洗了在旱季由硫化物氧化形成的H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>，加之部分淹水土壤中氧化作用减慢，所以土壤pH呈上升趋势。旱季情况正好相反，由于强烈的蒸发作用，地下水的盐分随着上升水流积累在土壤表面，土壤盐分在剖面上呈“V”字形分布。另外，旱季由于地下水位逐渐下降，土壤中的硫化物开始氧化形成H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>，增加了H<sup>+</sup>的浓度，使pH下降。几种土壤盐分与pH的季节性变化见表3。

表3 土壤盐分与pH的季节性变化 (0—20厘米)

土 壤	1990年雨季末		1990—1991年旱季末	
	水溶盐(g/kg)	pH(水提)	水溶盐(g/kg)	pH(水提)
泥炭型酸性磷酸盐土	36.2(2)*	2.73	144	2.55
盐化型酸性硫酸盐土	30.0(2)	4.81	57.9	4.54
草甸型酸性硫酸盐土	6.7(4)	5.09	20.4	4.59

\* ( )中数为标本数。

由表 3 可见, 各土壤雨季末盐分含量均低于旱季末期, pH值则完全相反。

表 4 列出了土壤盐分、pH和全硫在代表性剖面上的分布。不同土壤pH的剖面分布, 都是由表层向下逐渐降低, 主要是表层土壤硫化物含量低, 而氧化与淋洗作用较强有关。土壤全硫的分布与pH有相反的趋势, 但泥炭型酸性硫酸盐土例外。全硫与有机质的剖面分布规律则完全不一致, 这也正说明了这些土壤与普通热带土壤硫的形态特征的差异, 即  $\text{SO}_4^{2-}-\text{S}$  与硫化物硫占有绝对的优势。土壤水溶盐剖面分布规律不一致, 与采样时间有关, 草甸型酸性硫酸盐土为雨季后 12 月份采样, 因而表层含盐量低于下层, 而盐化型与泥炭型硫酸盐土, 是旱季后期的 4 月份采样, 因而表层积盐明显, 呈“V”字形分布。

表 4 土壤盐分 pH 全硫的剖面分布 (g/kg)

土 壤	深度(厘米)	水 溶 盐	pH(水提)	全 硫	有机质
草甸型酸性硫酸盐土	0—20	6.7	5.94	1.55	75.7
	20—45	13.8	4.42	3.27	207
	45—65	21.1	4.16	11.4	15.5
	65以下	22.7	4.12	12.7	12.3
盐化型酸性硫酸盐土	0—3	94.4	4.87	4.46	23.0
	3—20	56.0	4.33	13.5	21.3
	20—38	71.1	4.20	8.43	28.6
	38以下	147	4.04	7.87	26.2
泥炭型酸性硫酸盐土	0—5	228	2.71	40.8	137
	5—20	81.2	2.42	24.4	231
	20—70	75.9	2.33	37.8	155
	70以下	95.1	2.67	36.5	144

#### 四、土壤地下水的化学特征

盐渍化土壤的地下水与土壤性质密切相关, 酸性硫酸盐土壤也不例外。因此, 研究土壤

表 5 儿 种 土 壤 旱 季 地 下 水 质 比 较\*\* (g/L)

土 壤	1991,1		1991,3		1991,5	
	水 溶 盐	pH(水提)	水 溶 盐	pH(水提)	水溶盐	pH(水提)
泥炭型酸性硫酸盐土	30.1	3.2*	25.8	2.73	25.0	2.76
盐化型酸性硫酸盐土	39.0	4.3*	32.1	4.16	32.5	4.03
草甸型酸性硫酸盐土	21.3	3.7*	19.1	3.86	20.6	6.30

有“\*”者用pH试纸测定;\*\*为每月10、20、30日三次测定平均值。

表 6 不 同 土 壤 地 下 水  $\text{Fe}^{2+}$  的 含 量\* (mg/L)

土 壤	1991,6		1991,7		1991,8	
	$\text{Fe}^{2+}$	pH(水提)	$\text{Fe}^{2+}$	pH(水提)	$\text{Fe}^{2+}$	pH(水提)
泥炭型酸性硫酸盐土	30.1	2.80	349	2.58	599	2.95
盐化型酸性硫酸盐土	21.1	4.48	15.8	3.33	3.2	4.46
草甸型酸性硫酸盐土	12.8	4.63	0.6	4.64	0.2	5.50

\* 为每月30日的测定结果。

地下水的化学特征有助于对土壤的进一步认识。几种土壤旱季地下水的盐分与pH列于表5。

从表5可见,地下水中盐分含量与pH值的大小与其土体本身有相同的趋势,但由于旱季后期地下水位较低,有的在1米以上,受地下海水的影响,出现pH较高的情况。

在雨季的前期,土壤硫化物氧化产生的 $H_2SO_4$ 进入地下水,因而土壤及地下水的pH值均较低,在地下水中产生较多水溶性铁( $Fe^{2+}$ ),不同土壤之间差异较大,不同土壤雨季前期地下水中 $Fe^{2+}$ 状况见表6。

由表可见,泥炭型酸性硫酸盐土由于土壤硫化物含量高,地下水pH低, $Fe^{2+}$ 浓度高达数mg/L。而盐化型与草甸型硫酸盐土地下水中的 $Fe^{2+}$ ,只在6月份较高,7、8月份则降到很低的水平。

## 五、土壤的利用与改良

开垦利用坝上河段土壤是建档潮坝的目的,但不是所有土壤都可以立即开垦利用的,总的来说,草甸型酸性硫酸盐土已基本具备开垦利用的条件,盐化型酸性硫酸盐土问题较大,而泥炭型酸性硫酸盐土目前还不能利用。就前两种土壤来说,必须把改良与利用结合起来,做到边改良边利用。

**(一)搞好田间工程,充分利用雨水资源** 由于当地除雨水外,并无其它灌溉水源,因此,充分利用短暂雨季的雨水资源,做到在插秧前既使土壤充分脱盐脱酸,又能争取早日插秧,是种好雨育稻的关键。对于草甸型酸性硫酸盐土在自然圩埂的基础上,必须进一步加固修整,防止圩外高矿化度水进入圩内,从而使上层土壤充分洗盐,尽早插秧。对盐化型酸性硫酸盐土,首先要筑埂围田,雨季蓄淡养青,旱季盖草防盐,为第二或第三年利用打下基础。如1990年我们在盐化型酸性硫酸盐土上通过蓄淡洗盐,1991年试种水稻,获得1.2—3.7吨/公顷的产量。

**(二)合理耕作与施肥** 由于雨季前期,土壤首先在表层脱盐脱酸,而下层土壤盐与酸含量仍较高,因此插秧前宜浅耕。根据当地的降水特点,在降水量为1000—1200mm的正常年份,于8月上中旬插秧,基本能保证有一定的收成。如果采用生育期短的品种,则保险系数更大。根据土壤严重缺磷和pH低的特点,必须注意磷肥的施用,并以施用磷矿粉为好。氮肥要科学施用,根据水稻高秆品种的特点,氮肥用量不宜过多,以120—150kgN/公顷为宜。另外,由于土壤有机物含量高,施用Zn、Cu等微量元素肥料可能有效。

**(三)施用石灰等改良剂** 酸性硫酸盐土壤pH值低,适量施用石灰、贝壳粉等,增产效果显著。但必须在充分洗盐的基础上施,因为土壤盐分对水稻的毒害往往比酸更严重。

## 参 考 文 献

- [1] A. Aubrun, C. Marius, Etude pedologique sur la vallee de Bignona en Casamance (Senegal), Rapport definitif. Organisation et environnement, Paris France, Septembre, 1986.
- [2] 龚子同、周瑞荣,强酸性盐渍水稻土的发生,土壤学报,12(2):183—191,1964.
- [3] Jos Van der Klei, Selected papers of the Dakar symposium on acid sulphate soils 229—237, Dakar Senega. January, 1986.
- [4] Marius. C. Acid sulphate soils the Mangrove area of Senegal and Gambia, 103—136, In proceeding of Bangkok symposium on acid sulphate soils, 18—24, January, 1981.
- [5] Stanley A. Barber, Soil nutrient bioavailability, 297—305, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1984.
- [6] K. D. Mclachlan, Handbook on sulphur in Australian agriculture, 61—68, Melbourne, 1974.
- [7] 刘崇群等,我国南方土壤硫素状况和硫肥施用,土壤学报,18(2):185—193,1981.