

我国南方土壤硫素状况和硫肥施用*

刘崇群 陈国安 曹淑卿 刘元昌

(中国科学院南京土壤研究所)

SULPHUR IN SOILS OF SOUTHERN CHINA AND THE APPLICATION OF SULPHUR FERTILIZER

Liu Chong-qun, Chen Guo-an, Cao Shu-qing and Liu Yuan-chang
(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

一、前言

六十年代以来,硫在农业上的重要意义日益受到人们重视。缺硫面积日益扩大。这一情况的造成,据认为有以下几种原因:一方面随着作物产量的增加,由土壤带走的硫增加了,另一方面含硫化学肥料(如硫酸铵和过磷酸钙等)的施用量却大大减少了。另外,近年来由于强调环境的保护,使含硫燃料的使用大大减少,致使大气含硫量降低,由于这些原因,使原来土壤硫的平衡受到破坏。

我国很早就农业上使用含硫物质了,据群芳谱载,在明朝已经使用硫磺来促进作物生长。在我国的闽、浙、赣、湘等省,一些丘陵山区农民一直就有使用硫磺的经验。近年来江西井冈山地区每年使用石膏量约达3,500吨。遗憾的是,我国对土壤硫的系统研究,基本上仍处于空白状态,只是在近些年,才逐步受到重视。

从养分的观点看,硫的问题主要是我国南方的问题。北方也会存在硫的问题,但在性质上是另外一回事。比如,在南方可能存在的是硫的缺乏问题,而在北方可能主要是硫的过多问题。在南方,硫主要是有机态的,而在北方则可能主要是无机态的。而无机态硫酸盐过多的积累则主要是一个“盐害”的问题,所以我们把硫的研究重点放在我国南方。

我国土壤中特别是南方土壤中硫的状况如何?有哪些缺硫土壤?我国需硫的前景如何?这些问题有的是涉及到我国土壤养分的基本状况,有的是涉及到农业进一步增产,以及宝贵的硫资源的合理利用等重大问题。为此,我们从1976年开展了这方面的工作,这里报告的是我们的部分结果。

二、某些土壤类型的硫素状况

根据我们对浙、赣、闽、粤、桂、川、贵等7省202个标本的土壤全硫分析表明,我国南

* 刘志光、史陶钧、臧惠林、莫淑勋等同志以及赣州地区农科所,峡江县农业局,云南植物所,楚雄州农科所都对本项工作给予大力支持,特此致谢。

方土壤全硫含量在 0.001—0.072% 之间(表 1)。这一含量范围和国外的报道甚为近似。例如 Beaton^[5] 报道说在一般耕地中土壤全硫变化在近于零到 0.06% 之间, 但大部分土壤在 0.01—0.05% 范围内。

表 1 南方七省土壤全硫、有效硫含量

省 区	全 硫 (S, %)			有效硫 (S, ppm)		
	标本数	平均	范围	标本数	平均	范围
江 西	46	0.023±0.002	0.001—0.057	55	13.3±0.6	5.5—28.0
福 建	40	0.024±0.001	0.007—0.036	40	14.0±0.7	9.0—25.0
浙 江	14	0.028±0.003	0.013—0.053	19	14.9±1.8	6.8—41.0
广 东	36	0.028±0.005	0.005—0.057	35	21.5±4.0	5.6—39.4
贵 州	50	0.037±0.006	0.012—0.072	25	34.3±5.2	8.8—62.0
四 川	11	0.014±0.004	0.003—0.035	19	15.7±3.0	4.5—28.0
云 南	5	0.031±0.005	0.014—0.040			
总 计	202	0.028	0.001—0.072	193	18.0	4.5—62.0

土壤全硫含量似乎和母质关系不大, 从表 2 结果可见, 同一母质发育的土壤, 其全硫含量可以相差 2—3 倍, 这清楚地说明, 母质的影响是不大的。但是, 不同母质的含硫量是有很大大差别的, 比如一般岩浆岩含硫量可达 0.05—0.30%^[9], 这已经比一般土壤的含硫范围高了十几倍, 而沉积岩的含硫量比岩浆岩还要高五倍以上^[4]。但是为什么母质对土壤的含硫量影响很小呢? 这主要是因为硫在风化过程中是以硫酸盐存在的, 在热带亚热带地区, 它们在成土过程中, 可以进行强烈的淋溶, 所以在高度风化的土壤中母岩中的硫已

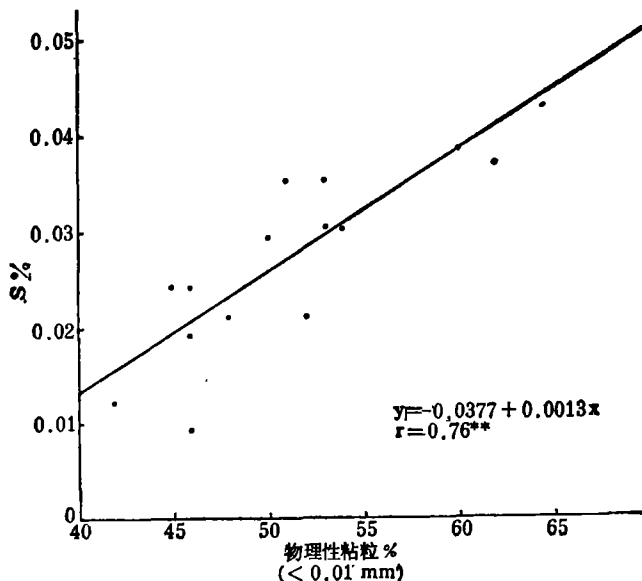


图 1 太湖地区土壤物理性粘粒与土壤全硫的相关性

残留很少。所以对土壤含硫量影响不大。但是,从我们的测定结果中也注意到砂岩、河流冲积物、花岗岩发育的质地轻的土壤通常含硫量比较低,这些土壤所以低些,实际上并不是母质的影响,而更可能是因为这些土壤有机质含量低所造成的。图 1 说明土壤粘粒含量大体上与土壤全硫含量有一个显著相关(达 1% 水准)。

表 2 不同母质发育的土壤全硫和有机质含量

母 质	采样地点	全硫含量 (S, %)	有机质含量(%)
第四纪红色粘土	南昌莲圻	0.057	3.86
	大余城郊	0.055	3.57
	大余钨矿	0.027	2.42
	南康农科所	0.025	2.47
	金华开化	0.016	1.67
	南康畜牧场	0.008	0.77
河流冲积物	广昌农科所	0.030	2.41
	南康农科所	0.017	1.76
	赣州地区农科所	0.014	1.62
砂岩(紫砂岩)	赣州地区农科所	0.040	2.99
	宁都农科所	0.033	3.03
	广昌九塘	0.045	3.10
	赣州农田	0.024	1.77
	安远联江	0.022	2.06
	江西刘家站	0.024	2.68
	峡江城上	0.019	1.97
	宁都老溪	0.044	3.09
花岗岩	安远版石	0.026	2.66
	安远石街	0.013	2.09
	宁都下湖	0.038	2.86
	宁都大布	0.034	2.47
	广昌长桥	0.041	3.18
	资溪农场	0.020	1.99
	峡江罗田	0.013	2.21

注: 1. 全硫测定用 Chaudry I. A. 法, KNO_3 - HNO_3 消化; 2. 有机质用重铬酸钾法。

另外,在大体相同的条件下,水田的全硫含量一般比旱地高,这种由于不同利用方式造成的土壤全硫(也包括土壤有效硫)的差别是很显著的,表 3 的结果清楚地说明了这一点。

表 3 南方水田和旱作地含硫量比较

成土母质类型	有效硫 (S, ppm)				全 硫 (S, %)			
	水 田	标本数	旱作地	标本数	水 田	标本数	旱作地	标本数
花 岗 岩	16.2	26	12.2	7	0.027	26	0.018	7
第四纪红色粘土	18.9	15	30.2	6	0.027	15	0.020	6
沉 积 岩	22.8	19	12.9	5	0.027	19	0.017	5
近代河流冲积物	14.6	8	7.8	4	0.016	8	0.013	4
湖 积 物	38.6	8			0.028	8		
平 均	19.8		16.5		0.025		0.017	

根据 193 个标本的分析结果(表 1)看,我国南方土壤的有效硫(磷酸盐-醋酸提取剂)含量变动在 4.5—62.0ppm 之间,这大约占土壤全硫含量的 5—10%。对于多种作物来说,土壤有效性硫的临界值大致在 6—12ppm^[8]。因此,一般说我国南方土壤的有效硫含量大多在临界值以上。但是,由于我国尚无自己的分级标准,上述临界值对我国的适用情况,也还需要进一步验证。

我国南方不同地区有效硫含量是有差别的,我们初步把土壤按有效硫含量分为三类。

第一类:有效硫含量在 30—50ppm 的土壤。包括太湖,洞庭湖地区的水稻土以及贵州由石灰岩母质发育的水稻土,这类土壤由湖积物和石灰岩母质形成,质地较细,粘粒成分含量高,保肥力强,全硫和有效硫含量皆高,供硫潜力大,这类土壤一般不缺硫。

第二类土壤有效硫含量在 16—30ppm 之间。这类水稻土主要分布在我国热带砖红

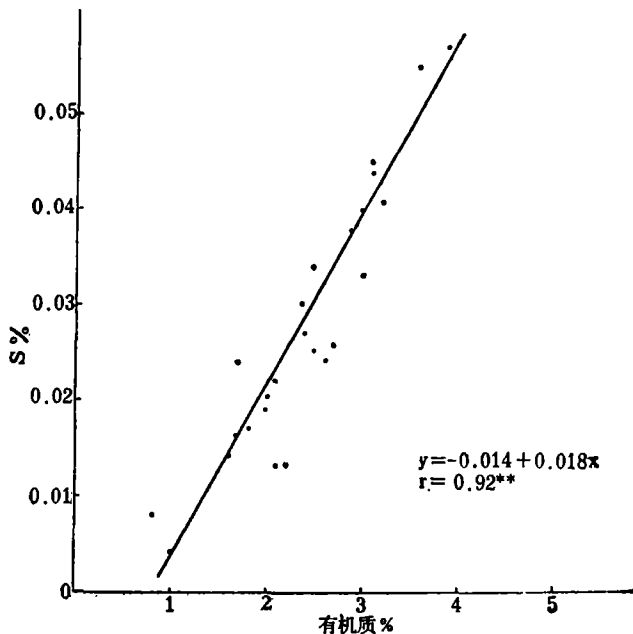


图 2 土壤有机质和土壤全硫的相关性

壤和红壤地区。它的特点是全硫含量较低, 土壤中高岭石和氧化铁, 铝含量高, 对 SO_4^{2-} 的吸附能力较强, 因而有效硫含量较高, 通常这类稻田硫素可以维持当前产量水平的需要, 但是由于土壤全硫含量较低, 供硫潜力不高, 如水稻产量进一步提高, 需要的硫增加, 应注意发生缺硫的可能。

第三类土壤有效硫含量接近常见作物的临界值小于 $16\text{ppm}^{[6,8]}$, 包括闽北的丘陵山区、浙江的红壤地区、赣南、赣中的丘陵山区以及四川紫色岩地区的水稻土, 这类水稻土全硫和有效硫含量均较低, 比较容易缺硫。其中浙、赣、闽丘陵山区的稻田有施用硫肥的历史, 是我国目前主要的施硫地区。

一般认为, 在南方条件下, 土壤中的硫除去有效硫外, 主要是有机态硫, 有机态硫大致占土壤全硫的 90—95%。而这些有机硫都是土壤有机质的组成部分, 因此, 可以想像, 土壤有机质的含量必然大大影响土壤全硫含量。图 2 是土壤有机质含量和土壤全硫含量的回归曲线, 它们之间具有极显著的相关 (达 1% 水准)。

三、不同作物中硫的含量

作物含硫量一般可以粗略地反映不同作物的需硫量。表 4 是 241 个植物籽实和茎秆标本的分析结果。从表 4 结果可以明显看出, 不论籽实还是茎秆, 不同作物类型含硫量都有很大差别, 其次序是: 十字花科 > 豆科 > 禾本科。其中十字花科的含硫范围在 0.35—0.92%, 豆科为 0.23—0.27%, 禾本科为 0.11—0.20%。这和国外不少报道是一致的。一般说, 通常需硫较多的作物是十字花科的甘蓝、萝卜、油菜、豆科作物、棉花、烟草等。禾本

表 4 不同作物含硫的情况

作物名称		种 子		茎 秆			
		平均含硫量 (S, %)	标本数 (个)	平均含硫量 (S, %)	无机硫平均含量 (S, %)	有机硫平均含量 (S, %)	标本数 (个)
禾本科	水稻(赣)	0.121	71	0.112	0.049	0.064	63
	水稻(苏)	0.157	20	0.189	0.108	0.077	20
	小 麦	0.163	5	0.123	0.057	0.066	5
	玉 米 (抽雄期)			0.203	0.085	0.118	5
豆 科	大 豆	0.368	2	0.227	0.105	0.123	6
	花 生	0.261	6	0.226	0.118	0.108	14
	紫云英			0.270	0.118	0.152	5
	桤 麻			0.260	0.152	0.107	3
十字花科	油 菜	0.890	2	0.348	0.123	0.226	2
	萝 卜 (叶子)			0.920	0.389	0.527	8
	萝 卜			0.676	0.242	0.433	4

注: 植株全硫用硝酸-过氯酸消化, 无机硫用水提取。有机硫=全硫-无机硫

科作物通常需硫相对要少一些,而像玉米这类作物,由于单位面积的生物积累量大,特别是高产时,其所需硫量也是比较高的。

根据我们的分析结果,在表 5 中列出了几种主要作物在一般产量情况下的需硫量。显然,由于植物含硫量受环境的明显影响,如江西水稻的含硫量就比太湖地区低(前者茎秆含硫量为 0.112%,后者为 0.189%)。所以上述数字只是一个粗略的范围。

表 5 不同作物的产量和硫的需要量

作 物	产 量(斤/亩)	硫的需要量(S 斤/亩)
水 稻	600	1.40
小 麦	200	0.58
大 豆	120	1.12
油 菜	110	2.05
花 生	200	0.57
紫 云 英	3,000	1.21
怪 麻	5,000	1.95
萝 卜	5,000	5.09

有人主张,用植物含硫量作为鉴定作物硫素营养水平或者土壤硫素供应水平的一个指标。从理论上说,用植物本身作为指标比用土壤测定有一定的优越性,因为植物是其本身营养水平的最直接的反映。但是,实际上问题却要复杂得多。然而,植株测定仍然不失为是一个鉴定土壤养分水平的途径之一。

据研究,禾本科植物,植株全硫含量如果 $<0.1\%$ 时^[3],就可能表示缺硫。对于水稻,有报道说,在植株全硫含量低于 $0.057-0.062\%$ 时^[7],可能意味着需要施用硫肥。我们初步

表 6 作物植株含硫量与硫肥增产效应的关系

作 物	土壤名称 (母 质)	全 硫 (%)	无 机 硫 (%)	有 机 硫 (%)	增 产 (%)
萝 卜 叶 (旺盛生长期)	黄泥土(四纪红色粘土)	0.705	0.334	0.371	不增产
	白沙土(花岗岩)	0.560	0.158	0.402	14.7*
玉 米 (旺盛生长期)	白沙土(花岗岩)	0.103	0.039	0.064	52.7**
	沙泥土(河流冲积物)	0.096	痕 迹	0.096	67.5**
	沙泥土(河流冲积物)	0.128	0.040	0.088	6.2*
水 稻	黄泥土(四纪红色粘土)	0.135	0.053	0.082	不增产
	沙泥土(河流冲积物)	0.196	0.058	0.148	不增产
	白沙土(花岗岩)	0.139	0.041	0.098	不增产
	猪肝土(紫沙岩)	0.216	0.072	0.144	不增产
豌 豆	沙泥土(河流冲积物)	0.412	0.228	0.184	不增产

* 5%显著标准; ** 1%显著标准。

的试验表明(表 6),当水稻的含硫量在 0.135—0.216% 时,施硫无效。当玉米植株的全硫量在 0.096—0.103% 时,施硫有显著的增产(52.7—67.5%)。萝卜叶片含硫量在 0.56% 时有增产,但在 0.705% 时,不增产。豌豆植株全硫量在 0.412% 时,无增产效应。

有人提出,当硫素供应充足时,在植物体内可以有无机硫酸盐积累,因此认为应用植物体内无机硫的积累情况来直接鉴定硫素供应情况,可能比用植株全硫含量要灵敏一些。从表 6 的萝卜植株中无机硫的含量看,似乎无机硫含量比全硫含量要灵敏一些。如在增产和不增产的差别中,植株全硫量只差 25%,而无机硫量相差达一倍以上。从表 6 的结果也进一步表明,植株中无机硫含量可以较好地反应土壤有效硫水平。当然,正如前面提出的,对于结果的解释必须十分慎重,因为别的原因,也可能导致植株中无机硫的累积,如氮素供应情况等。

四、大气和雨水中硫的含量

作物的硫素营养有一个和其它养分不太相同的特点,大气和雨水中的含硫量可以对作物硫素营养起重要作用。据英国测定,经由雨水供给的硫量超过每亩 1.6 斤时,一般即可满足作物对硫的需要^[2], 所以了解大气和降水中的含硫量对于估计农业中硫的平衡情况有重要意义。

空气中的含硫情况,大城市与郊区相比较,空气中含硫量可相差 10 倍之多。而一般小城镇和公社则比大城市郊区低得多。空气中硫主要来自含硫燃料,大气中的 SO_2 也是城市大气主要污染源。

表 7 江西雨水中含硫情况(S, ppm)

地 点	季 度			
	I	II	III	IV
峡江罗田公社	—	<0.40	2.70	2.88
峡江县城郊	2.84	<0.40	3.33	—
峡江水边公社	2.24	<0.40	0.77	4.20
赣州郊区	1.89	—	—	0.91
平 均	2.32	<0.40	2.27	2.66
雨 量(毫米)	344	725	290	197
含硫量(S斤/亩)	1.07	0.38	0.84	0.71
全年总计(S斤/亩)	3.0			

大气中的硫虽然也可以直接被作物吸收^[3], 但主要的是随降雨进入土壤后再供给作物。因此雨水中的含硫量是直接进入土壤的主要给源。我们于 1977—1978 年两年间,先后在江西的赣州和峡江站收集了雨水,分析结果列于表 7 中。

从表 7 中的结果可以看出,第二季度雨水中含硫量最低,这可能是由于第二季度雨量最大,硫含量被稀释的原故,从其它几个季度看,雨水含硫量变化在不大的范围内。四个收

集点,平均每年随降雨进入土壤的硫量高达 3 斤/亩。根据当地双季稻年产量在 1,200 斤/亩左右时,其需硫(S)量约为 2.75 斤/亩,降雨中的硫量基本上可以抵销水稻的消耗量(这里未考虑硫的淋失量)。

在水田情况下,除降雨外,还需要考虑灌水中可能供给的硫量。根据各地水文站对主要河流中的含硫量的测定结果(其中闽北的样品是我们测定的),从 646 个样品的平均值看,河水含硫量为 1.67ppm。如果平均一季水稻灌水 500 立方米,那么每年两季水稻期间随灌溉水所带进的硫可达 1.67 公斤之多。

根据以上所述,雨水和灌溉水中的硫都对植物硫的供应起着重要作用。这是研究土壤硫素供应时,必须考虑到的其它来源。

五、某些土壤上硫的肥效

从前面所论述的作为硫的主要来源(土壤、雨水、灌溉水)中,可以看到我国南方硫的供应基本情况是好的,在大部分情况下,可以依靠自然供给的硫的来源维持再生产。但是,这种基本情况并不意味着我国南方任何土壤均无缺硫的可能。由于具体环境不同,土壤硫的供求之间也会不同的。

根据我们在 1977—1978 年所进行的 27 个大田试验[试验在氮(尿素 25 斤/亩);磷(钙镁磷肥 30 斤/亩);钾(氯化钾 15 斤/亩)的基础上进行,硫肥用硫磺 1—4 斤/亩或石膏 10—20 斤/亩作基肥或蘸秧根]以及有关单位近年来的 149 个硫肥试验(表 8)表明,在增产的试验中,平均增产 15.7% 左右。在有肥效的土壤上,大体上可分为两种情况,第一是质地较粗的,由花岗岩、砂岩和河流冲积物发育的土壤上,它们通常含硫较低,硫肥有效性大,第二是冷浸田,硫肥肥效较好,这可能是由于气温低,影响了土壤有效硫的释放之故。

表 8 不同地区硫肥对水稻的增产效应

地 点	试验数	增产试验数	平均增产量(%)	增产幅度(%)
江西赣州地区	61	31	16.0	5.0—57.0
江西井冈山地区	46	25	12.5	5.3—31.0
江西宜春地区	5	4	19.4	7.4—27.0
江西上饶地区	5	5	19.1	9.0—33.3
云南楚雄地区	43	18	13.3	5.3—28.0
云南江川县	12	12	22.4	9.6—45.2
浙江金华地区	4	0	—	—
总 计	176	95	15.7	5.0—57.0

应该指出,土壤硫供应的缓冲能力似乎不大,即当不施任何硫素时,在盆栽的情况下,原来不缺硫的土壤,在第三季甚至第二季即可能表现出缺硫现象。由表 9 可以看到在河流冲积物发育的土壤上,连种三季萝卜—玉米—玉米,作物对硫的反应是不增产到增产 57.5%。这种情况着重说明我们必须重视土壤硫的平衡。否则,土壤可以在很短期间内,

由不缺硫变为缺硫。这一点似乎比其它元素更为重要。

表 9 土壤有效硫含量与作物增产情况

种植次数	第一季(萝卜)	第二季(玉米)	第三季(玉米)
土壤有效硫含量 (S, ppm)	25.3	12.0	9.6
硫肥的增产效应 (%)	0.4	6.2	67.5

六、结 语

对我国南方七省硫素供应状况研究表明:

1. 南方土壤硫的供应水平大多在中上水平。但是质地轻的, 含有机质少的土壤以及冷浸性水田仍然容易缺硫。

2. 必须重视南方土壤硫的平衡。如果不施任何含硫物质, 土壤有可能在相对不长的时间内, 由不缺硫变为缺硫。

3. 雨水和灌溉水是除土壤之外的重要硫素来源。试验表明, 这两部分来源, 在一般情况下, 可以满足在中等产量水平时硫的需要(未考虑硫的淋失)。有报道说, 在某些情况下, 每亩每年可以淋失硫素高达 8.6—24 斤之多^[1]。这一点我们尚无具体资料。

4. 农民的施硫经验中, 可能还包括利用形成不溶性的硫化物来消除某些有毒金属离子, 这一点值得进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 松木五楼者(金连缘译, 1959)1957: 化学肥料的性质与用法。商务印书馆, 139—149 页。
- [2] Cooke, G. W., (中国科学院南京土壤所农化室译, 1978)1972: 高产施肥。科学出版社, 93—96 页。
- [3] Слуцкая, Л. Д., (陈国安译, 1978)1972: 硫肥。土壤农化参考资料, 2 期 31—33 页。
- [4] Перельман, А. И. (屠清瑛译, 1976): 硫的地球化学。地理译文集 2, 四川省地理研究所。
- [5] Beaton, J. D., 1968: Determination of sulphur in soil and plant material. *Tech. Bull., Sulp. Inst.*, 14: 35—36.
- [6] I. F. D. C., 1979: Sulfur in the Tropics. 1—56, Muscle Shoals, Alabama.
- [7] Osiname, D. A., 1975: Response of rice to sulphur application under upland conditions. *Comm. Soil Sci. Pl. Anal.* 6: 588—589.
- [8] Walsh, L. M., 1973: Soil Testing and Plant Analysis. Rev. ed. USA, SSSA, Inc. 174—181.
- [9] Whitehead, D. C., 1964: Soil and plant nutrition aspects of the sulphur cycle. *Soil and Fertilizer*, 27(1): 1—5.