

# 华北地区土壤中硫的赋存特征

孙建中 戴昭华 盛学斌

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

**摘要** 主要讨论华北地区土壤中硫的分布及赋存特征。结果表明华北地区不同省市土壤中硫的含量有差异; 土壤中硫的含量与土壤类型及成土母质等有一定关系。土壤中不同形态硫的含量结果表明, 尽管该地区土壤中总硫在大部分土壤中含量较高, 但植物有效硫的含量相对较低, 土壤中的硫主要是以难溶无机硫和有机硫形式存在。

**关键词** 硫; 土壤; 华北地区

## 1 前言

硫广泛地分布在地壳中, 在岩石圈中估计约为 600 ppm<sup>[1]</sup>。在土壤中硫的含量变化较大, 一般在 30—10000 ppm 之间, 其评价价值约为 700 ppm<sup>[1]</sup>。硫可以多种形式存在于土壤中, 但主要是以硫酸盐和有机化合物形式存在为主。在土壤中硫的各种形态含量受多种因素控制, 除与成土母质、土壤类型等有一定关系外, 与微生物作用、氧化还原条件、胶体含量以及气候因素等有关。在湿热多雨的地带, 由于淋溶风化作用强烈, 土壤中硫可能以有机形式存在为主<sup>[2]</sup>。有的土壤中有有机硫可占总硫的 90% 以上<sup>[3]</sup>。在干旱与半干旱地区, 土壤中硫可能主要以难溶无机硫形式存在, 如  $\text{CaSO}_4$ , 在盐碱土中可存在大量易溶硫酸盐, 如  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  等。

由于硫是重要的生命元素之一, 因此土壤中硫的含量, 特别是与农业生产有关的生物有效硫的含量已受到广泛地重视<sup>[2-6]</sup>。硫又是重要的生态环境污染物质之一, 主要是化石燃料排放的大量  $\text{SO}_2$  使大气酸化, 从而导致加速土壤酸化, 造成土壤中大量植物营养元素被淋失<sup>[7-9]</sup>而危及陆地生态系统, 这已引起环境科学家的关注。

## 2 样品与分析

1987—1988 年, 在华北地区选取 126 个土壤采样点, 分别采集 0—20 cm, 20—40 cm 土样, 并选择了 6 个土壤剖面采至 120 cm。样品中硫分别用水、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  提取, 提取液经过滤用于分析水溶性硫与吸附硫; 用硝酸-高氯酸高压焖罐溶样, 用于总硫分析; 用 J-N 蒸馏法处理, 用于分析盐酸可溶性硫和挥发性硫<sup>[10]</sup>。样品中的硫均用 Jarrell-Ash 1155 V 型电感耦合等离子体发射光谱分析。

## 3 土壤中硫的分布

华北地区不同省市土壤中硫的含量(表 1)表明该地区不同省市土壤中硫含量有一定差异。山东北部土壤中硫含量最高, 达 0.073%, 其次为河南北部土壤, 为 0.068%, 华北西部土壤中硫含量最低。尽管该地区土壤中硫含量较高, 且不同省市间有一定差异, 但均在世界土壤含硫量范围(30—10000 ppm)之间。山东与河南两省北部土壤及天津、河北的土壤含量

接近于世界土壤含量均值(700 ppm)<sup>[1]</sup>。北京与山西土壤含硫量低于世界土壤均值, 约为世界土壤均值的 75%。该地区土壤中硫的含量是陕西农业土壤中硫含量<sup>[11]</sup>的 2—3 倍, 比我国南方土壤高 1 倍左右

表 1 华北地区土壤中硫的含量(%)

Table 1 Relationship between total sulfur content and organic matter in drab soil(%)

地区	样品数	含量范围	平均值	变异系数
北京	8	0.021—0.126	0.054	38.7
天津	12	0.026—0.127	0.065	36.9
河北	64	0.025—0.108	0.063	31.3
河南(北)	10	0.037—0.155	0.068	45.9
山东(北)	14	0.039—0.154	0.073	34.4
山西	18	0.014—0.141	0.050	49.9
陕西	115	0.003—0.166	0.021	/
我国南方 <sup>[6]</sup>	202	0.001—0.072	0.028	/

该地区土壤中硫分布在地理位置上差异的另一个特点是东西部间差异。若以东经 114 为分界, 在 114 以东土壤中含硫平均值为 0.068%, 西部为 0.050%, 且再向西至陕西, 土壤中硫平均含量更低。这些差异可能与土壤类型、成土母质以及地形特征等多种因素有关。

土壤中硫的含量与土壤类型及母质有一定关系, 本区内含硫量最高的土壤为盐化潮土, 达 780 ppm (表 2), 黄绵土中硫含量可能较低。

表 2 不同土类中硫的含量(%)

Table 2 Sulfur contents in different types of soil(%)

土壤类型	样品数	含量范围	平均值	土壤类型	样品数	含量范围	平均值
褐土	26	0.026—0.108	0.060	栗钙土	5	0.025—0.127	0.070
潮土	53	0.021—0.155	0.064	盐化潮土	14	0.039—0.154	0.078
盐化草甸土	4	0.051—0.141	0.073	黄绵土	4	0.006—0.043	0.024

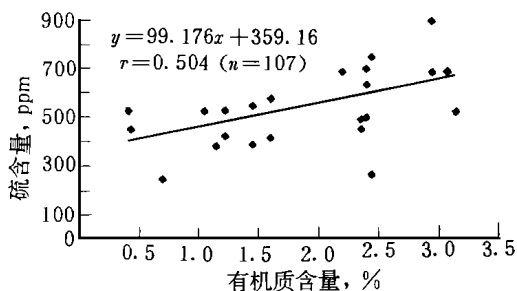


图 1 褐土中总硫含量与有机质含量间的关系

Fig. 1 Relationship between total sulfur content and organic matter in drab soil

本区内, 由第四纪冲积洪积物形成的土壤中硫含量较高, 由其它母质发育的土壤中硫的含量可能相对较低。

#### 4 土壤中硫含量与有机质的关系

褐土中硫含量与有机质间的关系见图 1, 结果表明褐土中硫与有机质含量间呈线性关系, 其置信系数  $P < 0.01$ 。此式表明华北地区土壤中硫含量与有机质含量间呈显著性相关, 其置信系数  $P < 0.001$ , 且此规律与南方土壤相似<sup>[6]</sup>, 同时表明土壤中有有机质含量对土壤中硫贡献起着十分重要作用。

表 3 给出华北地区土壤中 C、N、S 的比值, 结果表明, 北京和天津的土壤中的 C/N 比值较高, 其次是河南与河北, 这 4 个省市土壤的 C/N 比与南方的成都平原及太湖区水稻中

的 C N 比值接近

表 3 华北地区土壤中 C N S 比值

Table 3 C N S ratios in soil in Northern China

地区	C	N	S	总有机碳, %	总氮, %	C/S	N/S
北京	112.2	10.0	15.8	0.57	0.054	7.10	0.63
天津	103.8	10.0	15.3	0.48	0.046	6.78	0.65
河北	84.1	10.0	12.0	0.54	0.060	7.01	0.83
河南	83.0	10.0	13.7	0.41	0.050	6.06	0.73
山东	60.1	10.0	14.8	0.44	0.063	4.06	0.68
山西	54.8	10.0	17.9	0.27	0.045	3.06	0.56
陕西 <sup>[10]</sup>	83.7	10.0	1.76	0.76	0.089	47.56	5.68
成都平原 水稻土 <sup>[6]</sup>	96.8	10.0	1.6	/	/	60.50	6.25
太湖区 水稻土 <sup>[6]</sup>	97.5	10.0	1.5	/	/	65.00	6.67
亚马逊河谷 缺硫土 <sup>[6]</sup>	72.1	10.0	0.5	/	/	144.2	20.00

## 5 土壤中硫的形态特征

华北地区土壤中各种形态硫的含量有明显差异。山东北部土壤中有效硫(水溶性硫+ 吸附性硫)与难溶无机硫均为该地区最高(表 4), 分别为总硫的 15.4% 和 69.5%。北京土壤中有效硫最低, 与我国南方土壤中有效硫含量接近, 其它省市土壤中有效硫含量均高于南方土壤, 不同省市土壤中有效硫含量高低依次为: 山东> 天津> 河北> 河南> 山西> 北京。有效硫占总硫的比例在不同省市土壤中存在显著差异, 山东与天津土壤中有较高比例的有效硫, 主要与这两个省市分布有盐化潮土有关, 在此类土壤中含可溶性硫酸盐量较高。

表 4 土壤中不同形态硫的含量(ppm)

Table 4 Fractionation of sulfur in soils

地区	有效硫 含量	占总硫 比率, %	难溶无 机硫 含量	占总硫 比率, %	有机硫 含量	占总硫 比率, %
北京	19.82	3.7	231.8	42.7	290.9	53.6
天津	64.09	10.1	321.6	50.4	252.2	39.5
河北	33.31	5.2	378.9	59.6	223.7	35.2
河南	24.65	3.6	507.1	74.5	149.2	21.9
山东	121.14	15.4	544.9	69.5	118.5	15.1
山西	23.12	3.9	377.0	63.5	193.9	32.6
我国南方 <sup>[6]</sup>	18	/	/	/	/	/

土壤中难溶无机硫含量依次为: 山东> 河南> 河北> 山西> 天津> 北京, 占总硫比率为 42%—75%。除北京土壤中难溶无机硫占总硫率小于 50% 外, 其它省市均大于 50%, 表明华北地区土壤中硫主要以难溶无机硫形式存在(表 4)。在该地区土壤中难溶无机硫含量相对较高可能与石灰性土壤中 CaCO<sub>3</sub> 含量有关<sup>[6]</sup>。

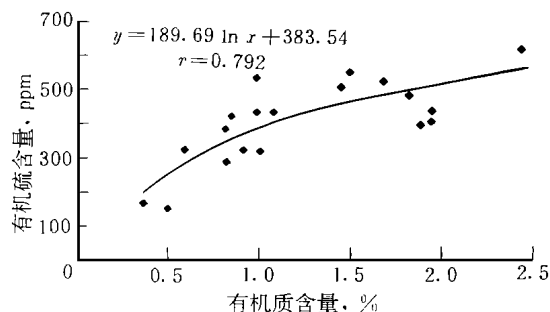


图2 北京、天津地区土壤中有机质与有机硫含量间的关系

Fig. 2 Relationship between organic matter and organic sulfur in soil in Beijing and Tianjin areas

华北地区不同省市土壤中有有机硫含量和难溶无机硫含量顺序几乎相反,依次为:北京>天津>河北>河南>山东。图2给出北京与天津地区土壤中有有机硫含量与有机质间的关系,结果表明两者间呈指数关系。该指数相关的置信系数 $P < 0.01$ 。图3给出褐土中有有机硫和有机质间的关系。从图中可以看出褐土中有有机硫与有机质间的关系存在一定的差异。潮土中有有机硫与有机质间的关系同样存在地域性差异(图4)。

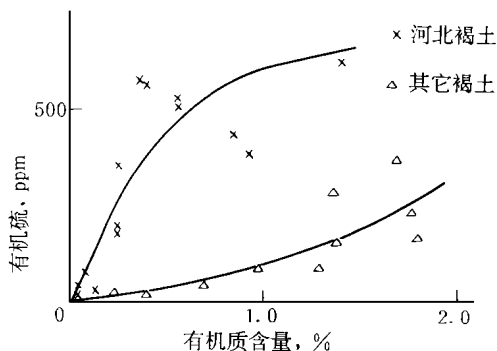


图3 褐土中有有机硫与有机质间的关系

Fig. 3 Relationship between organic sulfur and organic matter in cinnamon soil

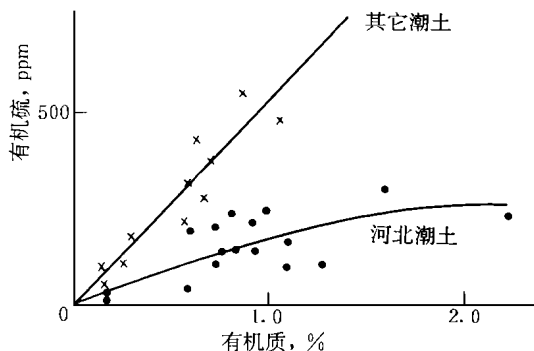


图4 潮土中有有机硫与有机质间的关系

Fig. 4 Relationship between organic sulfur and organic matter in weadow soil

## 6 土壤中硫的垂直分布特征

在该地区采掘6个土壤剖面,每隔20cm采集一个土样。盐化草甸土中不同形态硫的分布有一定差异(图5)。在40cm以下的土壤中有有机硫有逐渐增加的趋势,且主要为水溶性硫,占总硫的90%以上。有机硫在100cm以下的土层中明显增加,且与总硫分布密切相关。这种总硫与有机硫相关的现象在山西褐土中也同样存在(图6),唯有区别是有机硫峰值出现在80cm处,浅于盐化草甸土。盐化草甸土剖面中有有机硫和有效硫的峰值可能出现在地下水位上部,而褐土剖面中这两种形态的硫是在淋溶层底部和淀积层中。图7和图8分别给出4个潮土剖面中不同形态硫的分布。从图中可以看出,这4个剖面可分为两种。一种是有有机硫在剖面中出现正峰值(图7),即在该峰值位置土壤中硫的含量均高于上下相邻的土层,另一种是有有机硫在剖面中出现负峰值(图8)。前者分布在华北平原的西部,后者分布于华北平原的东部。东部两个潮土剖面位于盐碱土区内和附近,而西部的潮土是采自非盐碱土区。因此,土

壤剖面中硫的分布可能与盐碱化有关,但又不同于盐化草甸土,可能与盐化草甸土的样点位于山区开阔地有关,而盐化潮土是采自平原区,其两者的地下水位有明显的差异,其中一个盐化潮土样点位于滨海盐土区附近(图 8 a),其地下水可能受海浸影响,并对土壤剖面中硫的分布有一定的影响

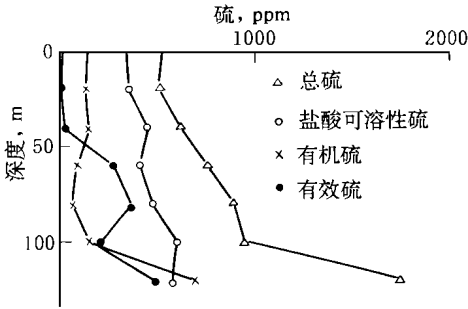


图 5 盐化草甸土中硫的垂直分布  
Fig. 5 Vertical distribution of sulfur in saline meadow soil

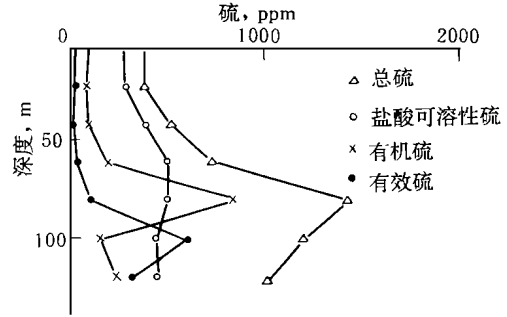


图 6 褐土中硫的垂直分布  
Fig. 6 Vertical distribution of sulfur in cinnamon soil

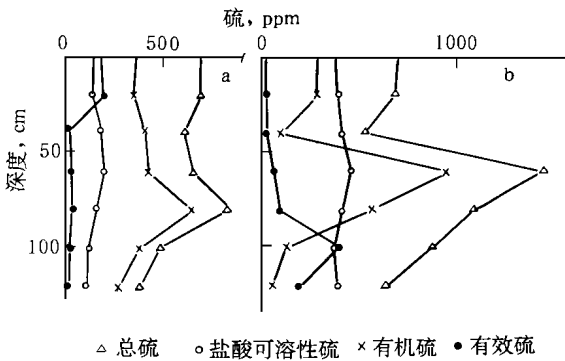


图 7 潮土中硫的垂直分布(两个剖面)  
Fig. 7 Vertical distribution of sulfur in Fluvo-aquic soil

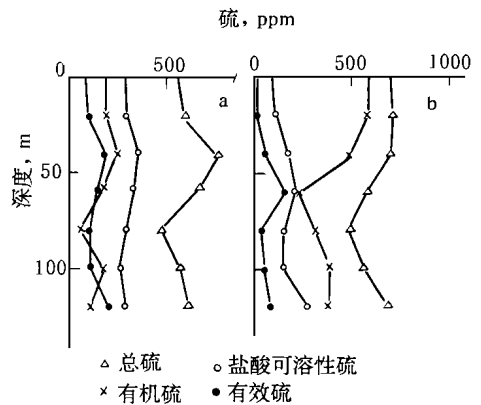


图 8 华北平原东部两个潮土中硫的垂直分布  
Fig. 8 Vertical distribution of sulfur in Fluvo-aquic soil in two areas of the eastern part of Northern China Plain

3 种土类 6 个剖面中硫的分布存在一定的相似性,难溶无机硫在土壤剖面中均变化较小,另外,除图 7 a 的潮土剖面的表土中有效硫高于心土和底土外,在其它土壤中几乎均是心土中有效硫高于表土,这种现象可能与土壤中难溶无机硫的含量、土壤本身及其母质等有关,而有效硫含量除与生物作用(植物吸收后归还)有关外,可能与地下水有关

### 7 结语

华北地区土壤中硫的含量高于我国南方土壤,其含量范围为 0.014%—0.155%,平均为 0.06%。不同省市及不同土类的土壤中硫的含量有一定的差别

土壤中硫的含量与有机质间存在一定的关系,且有机质与有机硫间相关,但在不同省市

及不同土类的土壤中其关系有差异,即使分布于不同区域的同一土类也有差异

该地区土壤中硫的含量尽管较高,但有效硫的含量并不太高,仅占总硫的 3.5%—15.5%,难溶无机硫占 42%—75%,有机硫占 15%—54%。表明该地区土壤中硫主要以难溶无机硫形式存在,其次为有机硫

土壤剖面中不同形态硫的分布特征不同,难溶无机硫在剖面中随深度变化相对较小,有机硫在大部分土壤的心土中含量较高,在土壤剖面中有机硫含量最高的位置可能与淀积层位及地下水位等有关,但尚需进一步研究

### 参 考 文 献

- 1 Lindsay W L. Chemical Equilibria in Soil New York: John Wiley & Sons, 1979: 282
- 2 刘崇群等 土壤学报, 1990, 27(4): 398
- 3 Nyborg M. In: Nriagu J O, ed Sulfur Pollution and Soil Sulfur in the Environment (part II). New York: John Wiley & Sons, 1978: 361
- 4 Ahmed N *et al* 巴基斯坦土壤中的硫状况 硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用国际学术讨论会论文集 成都科技大学出版社, 1993: 63—72
- 5 张淑茗等 硫镁在作物养分平衡中的作用 硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用国际学术讨论会论文集, 成都科技大学出版社, 1993: 194—200
- 6 刘崇群, 曹淑卿, 吴锡军 中国土壤硫素状况和对硫的需求 硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用国际学术讨论会论文集, 成都科技大学出版社, 1993: 10—18
- 7 Moss M R. In: Nriagu J O, ed Sources of Sulfur in the Environment Sulfur in the Environment New York: John Wiley & Sons, 1978: 23—50
- 8 Ivanov M V, Freney J R. The Global Biogeochemical Sulfur Cycle (SCOPE 19). Chichester: John Wiley & Sons, 1983
- 9 Meyer B. Sulfur, Energy and Environment Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1977
- 10 单孝全等 土壤和河流沉积物中硫的形态分析 环境科学学报, 1991, 11(2): 172
- 11 尉庆丰等 西北农业大学学报, 1989, 17(4): 57

1996-10-08 收到修改稿

## OCCURRENCE OF SULFUR IN SOIL IN NORTHERN CHINA

Sun Jianzhong, Dai Zhaohua, Sheng Xuebin

(Research Centre for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Science, Beijing 100085)

**ABSTRACT** The distribution and occurrence of sulfur in soil in Northern China were studied. The results obtained shows a difference in sulfur content among soils from various provinces and cities. There is also a significant correlation between sulfur content and soil type and soil parent material. The amount of available sulfur is much lower than the total sulfur which occurring primarily in insoluble inorganic sulfur or organic sulfur.

**Keywords** soil, sulfur.