

土壤对 SO_4^{2-} 的吸附-解吸特征*

吴杰民

(浙江农业大学环保系, 杭州, 310029)

摘 要

研究区两类主要农业土壤在实验温度和吸附平衡液浓度相同时, 酸性淋溶土(红壤、黄红壤) SO_4^{2-} 吸附量均高于近中性水成土(水稻土、潮土), 与土壤游离Fe, Al含量呈显著正相关, 吸附过程均符合 Freundlich和Temkin方程描述规律; 低温(10℃)时吸附量均高于常温(25℃), 表明吸附系放热反应, 有利于冬、春酸雨频仍季节土壤对 SO_4^{2-} 的固定, 研究表明土壤吸附过程由快速反应(0—4h)和慢速反应(4—48h)两部份组成, 且符合反映吸附机制较复杂的多级动力学反应规律. 0.01mol/l $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 和 1.0mol/l NaCl对土壤吸附态 SO_4^{2-} 的解吸率较高, 表明 SO_4^{2-} 主要被土壤吸附于带正电荷的氧化物胶体表面, 离子交换可逆吸附机制似占较大优势.

关键词: 酸雨, SO_4^{2-} , 吸附-解吸性能, 吸附动力学

已知 SO_4^{2-} 是我国长江以南烟煤型酸性降雨中的主要酸组分. 浙江省杭州、宁波、温州等八城市雨样中 SO_4^{2-} 含量约占阴离子总量80%, $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 当量浓度比值达7.7—16.8 (均值10.7)^[1], 可见 SO_4^{2-} 含量多寡也是左右我国华东沿海地区降水酸度的一个重要因素. 土壤作为大气酸沉降的主要受体, SO_4^{2-} 进入土体后的化学行为和归宿, 也是衡量土壤对酸沉降敏感性和承受能力的重要标志. 本文以浙江省农业土壤为例, 就其对 SO_4^{2-} 的吸附行为和动力学性质以及吸附态 SO_4^{2-} 的解吸特征等进行研究, 作为土壤对酸沉降缓冲能力强弱的重要因素予以评价, 对全面评估酸雨对本省农业生态环境影响也有积极意义.

材 料 和 方 法

1. 供试土壤

选择本省海拔100m以下、分布面积较大且具代表性的四种农业土壤(0—20cm)作为供试对象(自然风干并过2mm筛), 其理化性质见表1.

01—03号土属于亚热带风化程度较高、成土母质各异(分别为第四纪红土、石灰岩及粉砂岩)的酸性淋溶土, 盐基离子大量淋失(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ 等以氧化物计的盐基全量仅1.42—1.78%), 阳离子交换量(CEC)及盐基饱和度(26.5—45.3%)均较低, 但活性很强的游离态铁、铝氧化物(Fe_d , Al_d)含量及游离度(均值分别为59.71

* 国家自然科学基金资助项目“酸雨对土壤-植物系统环境效应研究”的部分研究成果

表 1 供试土壤及其理化性质

Table 1 Soil samples and their physico-chemical properties

代号	土壤类型	采样地点	pH	有机质 (%)	CEC (meq/100g)	Fe ₂ O ₃ (%)		Al ₂ O ₃ (%)		土壤颗粒 (%)	
						Fe _T	Fe _d	Al _T	Al _d	0.05—0.001 mm	<0.001 mm
01	红壤	衢县十里丰农场	5.37	1.60	18.16	5.27	3.37	16.51	0.75	51.20	36.19
02		金华双龙洞	4.73	2.55	13.16	4.53	2.57	13.40	0.65	65.44	18.19
03	黄红壤	杭州半山	4.77	1.44	16.51	4.09	2.39	11.25	0.60	49.80	25.00
04	潞育型水稻土	省农科院农场	6.10	2.37	22.52	4.14	0.93	15.54	0.12	77.03	15.83
05		湖州德清	6.03	3.17	31.38	4.51	0.88	14.27	0.12	69.03	28.30
06	潮土	本校华家池桑园	7.87	1.68	24.27	3.57	0.96	13.23	0.24	72.17	4.80

和4.91%)均较高;04—06号土则均为发育于浅海沉积母质上的近中性水成土,成土年龄短,风化程度浅,盐基淋失较少(盐基全量3.67—4.78%),CEC值及盐基饱和度(57.2—81.2%)较高,但游离铁、铝含量及游离度(分别为22.95和1.14%)则相对较前一类土壤低得多。

2. 实验方法

2.1 吸附实验 每种供试土样各称取若干份,每份5g,分别加入25ml不同浓度系列的K₂SO₄标准液(200—4000μgSO₄²⁻/ml),振荡1.5h后恒温(10或25℃)过夜,再振荡1h后离心分离,吸取一定体积上清液测定SO₄²⁻含量,以标准液中SO₄²⁻加入量加土壤背景SO₄²⁻含量(以去离子水提取),扣除吸附平衡液中SO₄²⁻残留量后,算出土壤SO₄²⁻吸附量(μgSO₄²⁻/g)。

2.2 吸附动力学实验 以01号红壤和04,05号潞育型水稻土为实验对象,吸附液SO₄²⁻初始浓度为1000和2000μg/ml两种水平,分别测定25—28℃条件下吸附反应时间为0.5,1.0,2.0,4.0,8.0,16.0,24.0,48.0h时吸附平衡液中SO₄²⁻含量。土液比及实验方法等均与吸附实验相同。

2.3 解吸实验 以01,03,05号土为供试对象。吸附处理后的土样,经前后两次称重算出留在土壤中的SO₄²⁻吸附残液量后,按土液比1:10(W/V)分别加入去离子水、0.01mol/l Ca(NO₃)₂和1.0mol/l NaCl等解吸剂,在常温(25℃左右)下振荡2.5h离心分离,测定解吸液中SO₄²⁻含量,扣除吸附残液中SO₄²⁻量后可得土壤吸附态SO₄²⁻含量不同时三种解吸剂的SO₄²⁻解吸量(μg/g)和解吸率(%)。

3. 测试方法

土壤pH、有机质、机械分析、阳离子交换量等均按常规分析方法^[2]进行;Fe,Al,Ca,Mg,K等全量分析系土样经偏硼酸锂熔融消解后用日产DCP仪(氩直流等离子火焰光栅光谱仪)测定;游离态Fe,Al含量系土样经DCB试剂提取后再用DCP仪测定;SO₄²⁻含量用BaCrO₄分光光度法^[3]测定,适用SO₄²⁻浓度范围为10—120mg/l。

结 果 与 讨 论

1. 土壤对SO₄²⁻的吸附性能

实验结果表明, 6种供试土壤对SO₄²⁻的吸附性能较强, 在吸附液SO₄²⁻初始浓度为200—4000μg/ml条件下均未达到饱和和吸附量水平(图1)。

将实验数据分别拟合Freundlich和Temkin等温吸附方程并列出了相应的参数值(表2), 发现二者拟合程度均较好, 相关性均可达极显著水平, Langmuir方程是否适于描述土壤对阴离子吸附规律尚有不同意见^[4], 本次拟合结果也发现低温(10℃)时相关性较差(r值仅0.51—0.77), 且所得参数可比性也较差, 故表2中均未列出。

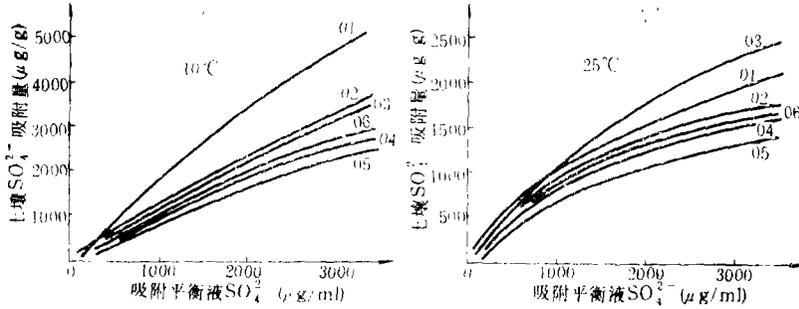


图1 土壤SO₄²⁻吸附等温线

Fig.1 Adsorption isotherms of SO₄²⁻ adsorbed by tested soils

表2 土壤SO₄²⁻吸附等温方程及参数

Table 2 Coefficients of adsorption isotherms of SO₄²⁻ adsorbed by tested soils

代号	土壤类型	Freundlich方程(A=KC ^{1/n})			Temkin方程(A=a+blnC)		
		K	1/n	r	a	b	r
10℃							
01	红壤	1.211	1.043	0.9947**	-8028.85	1499.79	0.9317**
02	红壤	2.267	0.912	0.9943**	-5445.42	1034.55	0.9317**
03	黄红壤	3.359	0.854	0.9764**	-5316.18	1010.65	0.8943**
04	潜育水稻土	2.994	0.856	0.9823**	-4339.50	841.79	0.9683**
05	潜育水稻土	1.153	0.957	0.9991**	-4464.41	820.10	0.9254**
06	潮土	2.732	0.875	0.9755**	-4493.18	873.30	0.9642**
25℃							
01	红壤	16.032	0.598	0.9903**	-2699.56	563.05	0.9379**
02	红壤	9.114	0.659	0.9884**	-2447.43	504.86	0.9930**
03	黄红壤	3.956	0.801	0.9941**	-4010.89	767.69	0.9557**
04	潜育水稻土	3.183	0.786	0.9764**	-2586.62	510.49	0.9828**
05	潜育水稻土	1.775	0.833	0.9916**	-2388.40	453.65	0.9767**
06	潮土	5.594	0.712	0.9778**	-2595.77	515.11	0.9765**

注: r**, 相关极显著(P=0.01)

图1和表2结果揭示如下规律:

(1) 同一实验温度, 吸附平衡液SO₄²⁻浓度近似时, 土壤SO₄²⁻吸附量是: 红壤、黄红壤>潮土>潜育型水稻土, 与土壤游离态Fe、Al含量(见表1)呈显著正相关, 而和土壤氧化铁、铝总量、有机质、粘粒含量等相关性差或无相关性, 可见土壤中表面活

性很强的游离态三氧化物是 SO_4^{2-} 的主要吸附剂。

两种酸性淋溶土对 SO_4^{2-} 有较强的吸持能力,有利于提高对硫酸型酸雨的适应能力,对减少因酸雨淋溶引起的土壤中盐基等营养离子的淋失也有积极意义。国外研究资料已经证实^[6]:酸雨对风化程度较深的富铁氧化土中的盐基淋失率很低, H^+ 对盐基离子的摩尔置换系数(mol 盐基离子淋失量/ mol H^+ 输入量)仅0.08—0.43,且随降水酸组分中 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 摩尔比值增高而降低,与酸性氧化土富含铁、铝两性胶体对 SO_4^{2-} 有较强吸持能力(相对于 NO_3^-)、减弱其对盐基离子的溶提能力有关。

(2)从热力学观点看,土壤吸附过程(物理吸附、化学吸附)中自由能减少($\Delta G < 0$)和熵值损失($\Delta S < 0$),从热力学基本关系式 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 推知, $\Delta H < 0$, ΔH 为负值表明吸附反应通常都是放热反应,故低温条件下更有利于吸附反应进行和达到完全。本次实验结果也证实了上述规律,表现在同一土壤吸附平衡液 SO_4^{2-} 浓度近似时,10℃时的吸附量普遍高于25℃时的吸附量,也与本课题前期预备实验时出现的规律一致^[6],也表现在表2中拟合的两个数学模型中表征吸附强度的系数项(F方程中的 $1/n$ 和T方程中的 b)10℃时均高于25℃时相应值。

浙江省酸雨频率高低随年内耗煤量的多寡而呈季节性变化,耗煤量大的冬、春季明显高于夏、秋季(1983—1986年降水pH4.6—5.6的频率冬、春季为47.6—56.1%,夏、秋季为35.0—41.4%),前者正值年内低温季节,土壤对 SO_4^{2-} 吸附量随实验温度降低而增高,一定程度上也有利于酸雨频繁季节提高土壤对输入 SO_4^{2-} 的固定作用,从而增强对酸沉降的适应能力。

2. 土壤 SO_4^{2-} 吸附动力学性质

红壤(01)、潯育水稻土(04,05)在吸附液 SO_4^{2-} 初始浓度(C_0)分别为1000,2000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 时吸附量(A)随吸附时间 t (h)变化的增长趋势如图2所示。

将实验数据拟合不同类型吸附动力学模式并求得相应参数值,见表3。

实验结果表明,两类土壤 SO_4^{2-} 吸附动力学性质有如下特征:

(1)图2显示,吸附过程由初始阶段的快速反应和后续期的慢速反应两部份组成。前者历时约4—8h,土壤胶体吸附位大部份迅速被 SO_4^{2-} 占据,吸附量增长甚速;后者土壤吸附量虽也随时间增加,但增值越来越小,8h后曲线渐趋水平,吸附量逐渐接近最大值。酸性红壤4h时吸附量为实验终了时(48h)吸附量的87—88%,两种近中性水稻土则可达93—96%,与两类土壤游离铁、铝含量和吸附位多寡有较大差异有关。

(2)两类土壤 SO_4^{2-} 吸附量历时变化趋势均符合表3中拟合的动力学模式表述的规律。从两个双常数方程中表征吸附全过程平均吸附速率系数(K_a 和 K)看,吸附液 SO_4^{2-} 初始浓度较小(1000 $\mu\text{g}/\text{ml}$)时,水稻土稍快于红壤, SO_4^{2-} 浓度增大(2000 $\mu\text{g}/\text{ml}$)

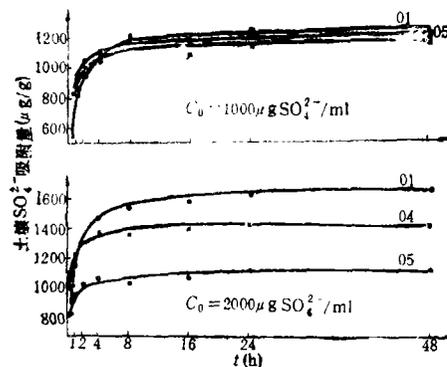


图2 土壤 SO_4^{2-} 吸附量($\mu\text{g}/\text{g}$)随时间(h)变化
Fig.2 Amounts of adsorbed SO_4^{2-} as a function of time

表 3 土壤 SO_4^{2-} 吸附动力学方程及参数
Table 3 Coefficients of kinetic equations of SO_4^{2-} adsorbed by tested soils

代号	土壤类型	C_0 (μgSO_4^{2-} /ml)	双常数方程1 $A=K_a C_0 t^{1/m}$			双常数方程2 $A=K C_0 e^{b/t}$			Elovich方程: $A=a+b \ln t$		
			K_a	$1/m$	r	K	b	r	a	b	r
01	红壤	1000	0.736	0.168	0.8673*	1.215	-0.466	-0.9955**	777.9	146.01	0.9134**
		2000	0.578	0.111	0.9453**	0.794	-0.267	-0.9782**	1173.4	147.67	0.9644**
04	潯育水稻土	1000	0.763	0.134	0.8156*	1.410	-0.379	-0.9917**	802.8	113.51	0.8553*
		2000	0.587	0.062	0.8705*	0.705	-0.162	-0.9900**	1187.2	76.60	0.8906**
05	潯育水稻土	1000	0.932	0.077	0.9135**	1.165	-0.192	-0.9877**	957.1	79.06	0.9297**
		2000	0.466	0.056	0.9115**	0.567	-0.160	-0.9445**	944.8	55.54	0.9268**

注: r^* 相关显著, $P=0.05$; r^{**} , 相关极显著, $P=0.01$

时则反之, K_a 和 K 值较大者将能在相对较短的时间内达到吸附平衡; 从土壤 SO_4^{2-} 吸附量随时间变化的强度因素(双常数方程中的指数项 $1/m$ 和Elovich方程中的斜率 b)看, 酸性红壤在任一吸附液初始浓度时均高于水稻土, 图2中前者吸附量高于后者, 也可能与此有关。

(3) 土壤对阴离子的吸附机理相对复杂, 吸持力中既有静电短程引力的作用, 也有化学键合力的参与, 有时甚至伴随化学沉淀反应产生^[7], 因此吸附反应的级数也可能较高。实验数据以 $\lg A-t$ 或 $1/A-t$ 作图, 均不能得到一条直线, 可见吸附过程并非为简单的一级或二级动力学反应(4-8 h后的慢速反应基本符合一级反应规律), 进而拟合Castellan多级反应动力学方程: $dA/dt = kA^n$ 则相关性甚好(表4)。式中 A 为土壤 SO_4^{2-} 吸附量($\mu\text{g/g}$), dA/dt 为随时间 t (h)的土壤 SO_4^{2-} 吸附增量, k 为系数, n 为反应级数。

表 4 多级反应动力学方程($dA/dt = kA^n$)及参数

Table 4 Coefficients of multiple-order kinetic equation

参 数	红壤 (01)		潯育型水稻土(04)		潯育型水稻土(05)	
	$C_0=$ 1000 $\mu\text{g/ml}$	$C_0=$ 2000 $\mu\text{g/ml}$	$C_0=$ 1000 $\mu\text{g/ml}$	$C_0=$ 2000 $\mu\text{g/ml}$	$C_0=$ 1000 $\mu\text{g/ml}$	$C_0=$ 2000 $\mu\text{g/ml}$
k	10 ^{12.68}	10 ^{23.96}	10 ^{14.18}	10 ^{37.61}	10 ^{31.65}	10 ^{43.65}
n	-3.74	-7.15	-4.29	-11.54	-10.04	-14.14
r	-0.8673*	-0.9453**	-0.8154*	-0.8704*	-0.9135**	-0.9114**

注: r^* , 相关显著, $P=0.05$; r^{**} , 相关极显著, $P=0.01$

可见, 吸附反应级数均较高($n > 3$), 并随 C_0 值增大而增高, 说明吸附液中 SO_4^{2-} 浓度越高, SO_4^{2-} 在土壤中的吸附行为越趋多样性。 n 为负值则表明土壤吸附反应速率因土壤吸附量随时间增加而降低。上述研究结果与Singh对挪威富铁和贫铁森林土壤对 SO_4^{2-} 吸附动力学研究结果一致^[8]。

3. 土壤吸附态 SO_4^{2-} 解吸特征

土壤中铁、铝氧化物胶体吸附 SO_4^{2-} 的机制, 中外学者多倾向于以质子为媒介、反应中形成化学键并有电子转移为特征的配位体交换吸附(专性吸附)为主^[9-11], 由于 SO_4^{2-} 在胶体表面生成桥接络合物且吸持牢固, 故不应被非专性吸附阴离子(NO_3^- , Cl^-)

置代或被中性盐溶液大量洗脱而有异于可逆的离子交换吸附机制。

本实验以去离子水, 0.01mol/l $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 1.0mol/l NaCl 为解吸剂, 研究在常温(25℃)下各自对酸、中性土(01, 03, 05号)吸附态 SO_4^{2-} 的解吸特征并推论其吸附机制。实验结果列入表5, 主要规律是:

(1) 同一供试土壤, 吸附态 SO_4^{2-} 含量相近时, 三种解吸剂的解吸量和解吸率均为 $\text{NaCl} > \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 > \text{H}_2\text{O}$; 吸附态 SO_4^{2-} 含量近似时, 三种解吸剂对两种酸性淋溶土的解吸率均高于近中性水稻土。

(2) H_2O 的解吸率随 SO_4^{2-} 吸附量增加而增大, 而 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 和 NaCl 的解吸率则呈降低趋势。土壤吸附态 $\text{SO}_4^{2-} \leq 1000 \mu\text{g/g}$ 时, H_2O 的解吸率酸性淋溶土为30—55%, 水稻土为20%左右; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 的解吸率前者为30—80%, 后者约25%; NaCl 解吸率最高, 两种酸性土达55—95%, 水稻土也可被洗脱40%左右。

表5 土壤吸附态 SO_4^{2-} 解吸量和解吸率

Table 5 Amounts of desorption and desorption rates of adsorbed SO_4^{2-}

解吸剂	红壤(01)			黄红壤(03)			潞宁型水稻土(05)		
	吸附量 ($\mu\text{g/g}$)	解吸量 ($\mu\text{g/g}$)	解吸率 (%)	吸附量 ($\mu\text{g/g}$)	解吸量 ($\mu\text{g/g}$)	解吸率 (%)	吸附量 ($\mu\text{g/g}$)	解吸量 ($\mu\text{g/g}$)	解吸率 (%)
H_2O	298.88	80.72	20.36	300.86	129.17	42.93	500.91	58.70	11.55
	664.75	255.68	38.99	528.53	298.68	55.80	874.76	74.71	8.54
				1061.49	668.33	62.87	1137.34	419.93	36.92
0.01mol/l $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	388.65	67.71	16.85	502.95	419.05	83.29	830.17	305.41	36.83
	581.39	210.96	36.29	1336.71	864.71	65.15	1076.99	149.93	14.06
	875.94	270.89	30.93				1360.00	101.42	7.46
1.0mol/l NaCl	323.75	208.69	63.96	477.37	617.81	129.42	386.45	159.29	41.22
	792.59	426.07	54.27	1080.92	1036.09	95.85	1006.05	416.40	41.39
	1220.60	456.53	37.40	1361.78	863.96	63.33	1248.67	174.91	14.52

近中性的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 稀溶液和 NaCl 溶液可部份或大部份洗脱供试土壤中的吸附态 SO_4^{2-} , 说明其吸附机制虽有前述专性吸附机制参与, 但由静电引力驱使的离子交换吸附似占优势, 特别是游离铁、铝含量较高、正电荷量也相对较多的两种酸性淋溶土更是如此。 NO_3^- 和 Cl^- 与土壤胶体表面亲和力虽然小于 SO_4^{2-} , 但在含该两种阴离子的解吸液的离子强度 μ 值较大时(本实验 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 溶液 μ 值为 $3.0 \times 10^{-2} \text{mol/l}$, NaCl 溶液为 1.0mol/l), 受质量作用定律影响, 仍使较多的吸附态 SO_4^{2-} 被置换后转入解吸液中。近年来, Curtin等也发现英国多种酸、中性土壤对 SO_4^{2-} 的吸附-解吸行为与 PO_4^{3-} 有明显区别^[12], 其中解吸液无论是 CaCl_2 还是 NaCl , 离子强度一旦 $> 3 \times 10^{-2} \text{mol/l}$, 对 SO_4^{2-} 的解吸量便急剧增加, 而 1.0mol/l NaCl 的解吸量几乎与含P量为 500mg/l 的 KH_2PO_4 解吸液的 SO_4^{2-} 解吸量相当, 80%以上的吸附态 SO_4^{2-} 均可被两者洗脱。据此作者认为, SO_4^{2-} 是作为反号离子吸附于带正电荷的胶体交换位上, 属可逆的离子交换吸附, 而被专性化学吸附固定而不易解吸的 SO_4^{2-} 量较少。所以, 土壤胶体对 SO_4^{2-} 的吸附机制究竟以何者为主, 仍须深入研究, 这不仅具有理论意义, 且对评价土壤对硫酸型酸雨适应、承受能力强弱也有重要实践价值。

结 论

1. 研究区两类农业土壤对 SO_4^{2-} 的吸附容量甚大, 酸雨频度较高的低温季节更有利于吸附反应进行。吸附量与土壤游离态铁、铝含量呈正相关, 故吸附平衡液 SO_4^{2-} 浓度近似时, 富铁、铝的酸性淋溶土在两种实验温度(10°, 25°C)下吸附量均高于相对贫铁、铝的近中性水成土, 有利于提高酸性土对酸沉降的承受能力和减少对土壤盐基离子的淋失。实验数据与Freundlich和Temkin等温吸附数学模型的拟合程度均甚佳。

2. 土壤对 SO_4^{2-} 吸附过程由快速反应(0—4h)和慢速反应(4—48h)两部份组成, 并符合双常数和Elovich等动力学方程描述的规律。实验也证明吸附反应为反映吸附机理和吸持力参与等均较复杂、多样的多级动力学反应, 与国外学者研究结果一致。

3. 中性盐溶液(0.01mol/l $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 和1.0mol/l NaCl)对土壤吸附态 SO_4^{2-} 的解吸率均较高, 对酸性淋溶土的洗脱率又高于近中性水稻土。由此推知, SO_4^{2-} 可能主要是作为反号离子被吸附于带正电荷的土壤胶体吸附位上, 为静电库伦引力驱使为主的离子交换可逆吸附反应(不排除部份为非可逆的专性化学吸附反应)。农业土壤如施用含氮、含磷化肥过多, 将不利于土壤对 SO_4^{2-} 的固定作用, 削弱对硫酸型酸雨的适应能力。

参 考 文 献

- [1] 浙江省环境监测中心站, 1987. 浙江省酸雨的时空分布、成因和发展趋势
- [2] 中科院南京土壤研究所, 1978. 土壤理化分析. 上海科技出版社, 上海
- [3] 水质分析大全编写组, 1989. 水质分析大全. 科技文献出版社重庆分社, 重庆
- [4] 于天仁主编, 1987. 土壤化学原理. 科学出版社, 北京
- [5] Huete A R, McColl J G, 1984. Soil Cation Leaching by Acid Rain with Varying Nitrate-to-Sulfate Ratios. *J. Environ. Qual.*, 13(3):361
- [6] 吴杰民等, 1990. 浙江省四种类型土壤酸缓冲性能初析. 环境科学学报, 10(2):138
- [7] 熊毅, 陈家坊等编著, 1990. 土壤胶体, 第三册: 土壤胶体的性质. 科学出版社, 北京
- [8] Singh B R, 1984. Sulfate Sorption by Acid Forest Soils 4. Kinetics and Effects of Temperature and Moisture. *Soil Science*, 138(6):440
- [9] Gebhardt H et al., 1974. Anion Adsorption by Allophanic Tropical Soils I. Sulfate Adsorption. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38:259
- [10] Parfitt R L et al., 1978. The Mechanism of Sulfate Adsorption on Iron Oxides. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 42:48
- [11] 章纲娅等, 1987. 可变电荷土壤对 SO_4^{2-} 的吸附. 土壤学报, 24(1):14
- [12] Curtin D, Syers J K, 1990. Extractability and Adsorption of Sulfate in Soils. *J. Soil Science*, 41:305

1991年9月23日收到。

SORPTION-DESORPTION CHARACTERISTICS OF SULFATE ON SOIL SURFACE IN STUDIED AREAS

Wu Jiemin

(Department of Environmental Sciences, Zhejiang Agricultural
University, Hangzhou, 310029)

ABSTRACT

At experimental temperature (10°C or 25°C) and concentration of SO_4^{2-} in sorption-equilibrated solution, the amounts of SO_4^{2-} adsorbed by acidic soil group (red soil, yellow-red soil) was larger than that adsorbed by nearly neutral soil group (paddy soil, hydro-fluvent soil), it was found to be well correlated with the content of active free Fe, Al oxide in the above soils. It was shown that the sorption data could fit both the Freundlich and Temkin isotherm equations closely. The adsorption process of sulfate was demonstrated as an exothermic reaction and could be described by the multiple-order kinetic equation. It was found that the desorption rates of adsorbed SO_4^{2-} by 0.01mol/l $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and 1.0mol/l NaCl were very high, it would be extrapolated that sulfate anion as a counterion was sorbed on the colloid surface which brought positive charge, i.e. Fe(Al) oxide. The adsorption mechanism seemed to be a reversible ion exchange reaction, thus the adsorbed SO_4^{2-} could be mostly desorbed by the neutral salt.

Keywords, acid rain, sulfate anion, characteristic of sorption-desorption, kinetics of adsorption