

我国南方某些土壤 对钾素的固定及其影响因素

朱永官 罗家贤

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文研究了我国南方一些土类的钾素固定作用。结果表明,以高岭石为主要粘粒矿物的土壤,其钾素固定不明显,随着土壤粘粒中2:1型矿物的增多,固钾作用增强。干湿交替有利于钾素固定,陪补阴离子对钾素固定没有明显影响。土壤固钾量与CEC呈显著正相关,而与粘粒含量的关系则视粘粒矿物组成而定。

土壤钾素的植物有效性受土壤许多物理化学过程控制,其中钾素固定作用是最重要的过程之一。土壤钾素的固定作用具有两重意义:一方面它降低了钾的有效性;另一方面却减少了钾的淋失和植物对其过多的吸收,从而提高了钾肥的施用效果。土壤对钾的固定作用受土壤矿物学性质和理化性质的影响很大。Menget等把土壤钾固定归因于土壤2:1型矿物吸附 K^+ 后的晶层闭合。Martini等认为,火山灰土的固钾能力很高是因为无定形物质中三水铝石起着重要作用。鉴于我国南方土壤的缺钾状况日趋严重,而目前对这些土壤的固钾性能的研究报道较少,本文试图通过对我国南方一些土类固钾性能及影响因素的研究,以探讨土壤的固钾机理,供合理利用钾肥的参考。

一、材料与方 法

(一)供试土样 供试的12个土壤样品采自不同地区早作耕层(0—15cm),采集地点和基本性质见表1。

(二)测定方法 1.土壤pH用电位计法(液土比为2.5:1)测定;土壤阳离子交换量用醋酸铵法测定。2.土壤粘粒的分离:称取过20目筛的土样40g,用稀HCl去碳酸盐, H_2O_2 去有机质,超声波分散。用自由沉降法提取 $<2\mu$ 粘粒部分,悬液用 $CaCl_2$ 絮凝,用水、无水乙醇洗至无 Cl^- 为止,用红外灯烘干(60℃),称重定量。3. Ca质土制备:称取5g过60目筛的样品于100ml塑料离心管中,用50ml 0.5 mol/L $CaCl_2$ 溶解平衡3次,然后用无水乙醇洗至无 Cl^- 为止,用红外灯(60℃)烘干,磨碎过60目筛后装瓶备用。4.土壤粘粒矿物的测定:用柠檬酸钠—碳酸氢钠—连二亚硫酸钠法除游离铁,镁离子饱和,甘油渗入晶格制成定向薄片,用 $D_{max}/\lambda Cx$ 衍射仪测定,辐射靶为 $CuK\alpha$ 。5.钾素固定量的测定:称取5.00g Ca质土5份,置于100ml塑料离心管中,并称重,分别加入50、100、150、200、250mg/L KCl溶液50ml,离心管加盖,在25℃下间歇振荡平衡72小时。离心分离清液后,称离心管重,并测定平衡液

表 1

供试土壤基本性质

土壤	成土母质	编号	采集地点	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	CEC cmol/kg	粘粒含量 (%)	主要粘粒矿物
红砖壤	花岗岩	1	海南那大	4.73	4.20	4.94	34.23	高岭石, 少量三水铝石和水云母
		2	广东韶关	4.95	4.13	12.60	40.61	高岭石, 少量水云母和三水铝石
3		广东广州	4.84	4.04	5.88	29.52	高岭石, 少量水云母	
4		福建光泽	5.18	2.25	11.67	39.13	高岭石, 水云母	
红壤	第三纪红砂岩	5	江西余江	5.67	4.43	6.26	15.44	高岭石, 蛭石
	花岗岩	6	江西南昌	4.79	3.98	10.68	26.44	高岭石, 水云母, 蛭石
石灰土	石灰岩	7	广东肇庆	4.89	3.91	9.45	55.19	高岭石, 过渡矿物, 水云母
		8	广西桂林	5.40	4.31	14.72	59.10	高岭石, 过渡矿物
		9	江西宜春	5.04	4.07	13.04	61.42	高岭石, 水云母
		10	浙江杭州	5.88	4.70	19.14	51.93	高岭石, 水云母
		11	江苏南京	7.78	6.31	33.32	59.73	水云母, 过渡矿物, 高岭石
紫色土	紫砂页岩	12	四川成都	8.38	7.29	19.01	17.91	水云母, 过渡矿物, 高岭石

K 浓度, 根据离心管前后重量差计算残留液量。样品置于红外灯下(60℃)烘干48小时, 然后用1mol/L NH₄OAc提取交换性钾。溶液钾浓度由火焰光度计测定, 实验重复2次。固定钾量的计算方法如下: 固定钾量 = 加入钾量 - [平衡液钾量 - (NH₄OAc 提取钾量 - 残留液钾量)]。6. 干湿交替和陪补阴离子对钾素固定的影响试验: 取 5.00g Ca 质土置于 100ml 塑料离心管中, 加 5ml 400mg K⁺/L 的 KCl、KH₂PO₄ 和 K₂SO₄ 溶液, 平衡(25℃)72小时, 然后, 在红外灯下烘干(60℃)48小时, 从而完成一次干湿交替处理; 如此反复数次(第二次开始用 5ml 去离子水代替 5ml 400mg K⁺/L 的溶液)。随后测定 1mol/L NH₄OAc 提取液所提取的钾量 固钾量 = 加入钾量 - NH₄OAc 提取钾量。

二、结果与讨论

(一)不同土壤对钾素的固定

土壤对钾的固定能力主要受土壤矿物学性质的影响。从表 2 可以看出, 花岗岩发育的砖红壤、赤红壤(编号 1、2、3)以及红壤(江西南昌)的粘土矿物以高岭石为主, 而水云母和蛭石的含量均较低, 因此这些土壤没有显著的固钾能力。至于表 2 中出现的固定量为负值, 可能与测定过程中土壤非交换性钾的释放有关。

第三纪红砂岩发育的红壤(编号 5), 尽管其粘粒中含有较多的蛭石, 但是在酸性条件下蛭石层间常存在一定量的岛状羟基铝, 它在层间起着支撑物的作用, 当 K⁺ 进入层间后晶层并不闭合, 所以使钾的固定量大为降低。

供试的石灰土、紫色土(7—12号)和福建光泽花岗岩发育的红壤(4号), 它们的粘粒中含有一定量的水云母、蛭石、蒙脱石及膨胀性过渡矿物, 因此这些土壤具有相对较高的固钾能力, 其中以南京的石灰土(11号)和成都的紫色土(12号)为最高, 因为这两种土壤的主要粘土矿物为水云母、蛭石, 并含有一定量的蒙脱石。

从土壤固钾等温线(图 1)可以看出, 部分土壤的固钾量与平衡液浓度成明显的正相关。在土壤钾素固定量尚未达到最大值而平衡液中仍有存在, 表明土壤中钾素固定也受交换平衡的影响, 因为土壤中钾的固定首先是溶液中的钾离子通过交换吸附进入土壤吸附复合体, K⁺

表 2

不 同 土 壤 的 固 钾 量

土 壤	编 号	添加液钾浓度 (mgL ⁻¹)	NH ₄ OAc-K (mgL ⁻¹)	平衡液K浓度 (mgL ⁻¹)	固定的钾量 (mgkg ⁻¹)
砖红壤	1	100	23.45	84.26	-77.1
		200	35.42	174.11	-95.3
赤红壤	2	100	31.22	71.84	-30.6
		200	60.11	154.07	-140.7
	3	100	25.50	74.35	+1.5
		200	44.83	163.82	-86.5
红 壤	4	100	18.13	73.23	+86.4
		200	33.50	155.30	+112.0
	5	100	21.82	80.96	-27.8
		200	30.24	169.75	+0.1
	6	100	30.80	64.20	+50.0
		200	48.61	151.55	-1.6
石灰土	7	100	11.09	58.37	+305.4
		200	31.13	137.85	+310.2
	8	100	26.92	55.79	+172.9
		200	48.32	132.03	+196.5
	9	100	20.85	68.71	+104.4
		200	39.99	149.48	+105.3
	10	100	19.65	43.04	+373.1
		200	31.89	110.38	+577.3
	11	100	20.00	19.91	+600.9
		200	33.45	55.62	+1109.3
紫色土	12	100	21.82	36.60	+415.8
		200	37.14	91.91	+709.5

吸附在 2:1 型层状硅酸盐矿物内层的复三角网孔, 并导致晶层塌陷而被固定。

(二) 干湿交替处理对固定钾素的影响

水热状况对土壤固定钾素具有一定的影响。从表 3 可以看出, 干湿交替处理对于紫色土和石灰土(杭州)而言, 将随着干湿交替处理次数的增加而增大土壤的固钾量, 这可能是由于土壤经干湿交替处理后, 原吸附在外表面位的 K⁺ 不断进入层间而被固定的缘故; 但对南京的石灰土来说, 其固定的钾量随土壤干湿交替处理次数的增加而下降, 这是因为该土壤本身含有较高水平的非交换性钾 (812.9mg/kg 土), 随着干湿交替处理的进行, 这部分钾逐步释放出

表 3

干湿交替和陪补阴离子对钾素固定量(gkg⁻¹)的影响

处 理		第 2 次干湿交替			第 4 次干湿交替			第 6 次干湿交替		
土壤	土号	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
石灰土	10	0.329	0.320	0.340	0.350	0.340	0.340	0.372	0.357	0.344
	11	0.349	0.338	0.338	0.336	0.328	0.321	0.328	0.317	0.334
紫色土	12	0.237	0.246	0.248	0.259	0.265	0.246	0.265	0.265	0.259

来，从而降低了土壤对钾素固定的绝对量。

(三) 陪补阴离子对钾素固定的影响

有研究表明，施用磷肥可以增加土壤中钾素的固定，这是由于 $H_2PO_4^-$ 与粘粒矿物中的羟基发生了代换作用，使粘粒矿物的负电荷增加所致，也有学者认为，施用 $NH_4H_2PO_4$ 并不能降低土壤中 K^+ 的淋失量，从而推断施用 $NH_4H_2PO_4$ 并没有显著地提高土壤的固钾能力。可见，目前有关陪补阴离子对土壤钾素固定的影响尚不清楚。试验结果表明(表3)， $H_2PO_4^-$ 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 作为陪补阴离子时，土壤固钾量没有表现出显著的差异，说明陪补阴离子对土壤钾素固定的影响是不明显的。这是因为，土壤中 $H_2PO_4^-$ 和 SO_4^{2-} 通过与羟基化或水化羟基交换而被吸附可以导致土壤胶体表面负电荷的增加，从而增加土壤对 K^+ 的吸持量。但是土壤吸附阴离子并不导致2:1型粘土矿物层间电荷的变化，因此，吸持量的增加并不意味着土壤固钾量的增加。

(四) 影响土壤固定钾素的其它因素

已有研究表明，土壤固定钾素的量与阳离子交换量呈显著正相关。从图2也可以看出，供试的7种土壤，其固钾量与土壤CEC呈极显著正相关($r=0.917^{**}$)。因为土壤阳离子交换量越高，溶液中 K^+ 越容易进入土壤交换复合体，因而被层间固定的可能性亦越大。

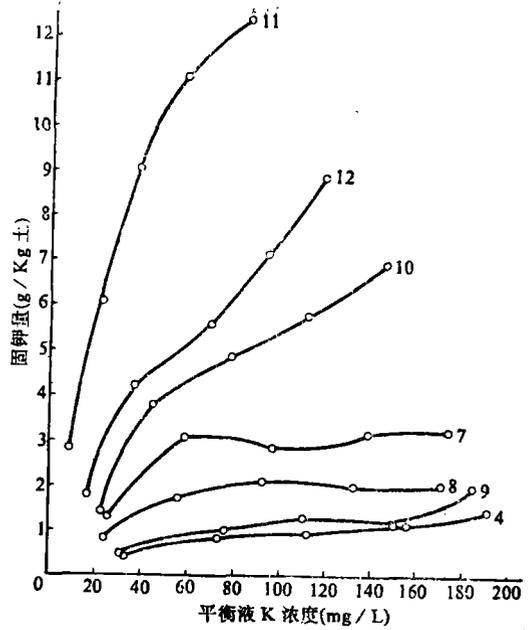


图1 土壤固钾的等温线(图中阿拉伯数字为供试土壤号)

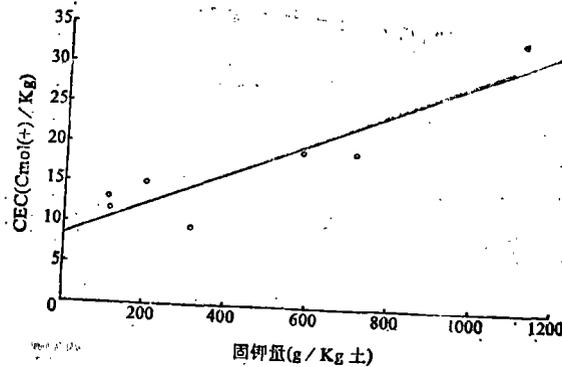


图2 土壤CEC与固钾量的关系

虽然有许多研究者认为土壤粘粒含量与钾素的固定有一定的相关性，例如，Mehrota等发现，印度某些土壤的固钾量的80—90%归因于土壤的粘粒部分。但是从我们的试验来看，土壤固定钾素的量与土壤粘粒含量并无明显的相关性。表明粘粒含量并不能完全反映土壤的固钾能力。因为处于不同气候带和由不同母质发育的土壤，其粘粒含量和粘粒矿物种类都有差异。因此，即使土壤粘粒含量接近，但其固钾量未必相同。此外，土壤的其它粒级中也存在固钾能力各不相同的矿物。(参考文献略)