

铵对土壤钾素释放、固定影响的研究

范钦楨

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

铵对钾素固定释放影响的研究表明, 铵在提高土壤原有钾素的有效性方面作用不大, 相反, 它可使钾更紧闭在矿物层间复三角孔穴中, 从而使酸溶性钾减少。

铵的吸附固定可减少施入土壤的钾肥的固定, 从而提高钾肥的肥效, 但也易造成肥料钾的流失。

在铵、钾施用次序上, 先施铵后施钾时肥料钾固定最少; 先施钾后施铵时肥料钾固定最多; 铵、钾同时施用固定率居中。

关键词 铵, 钾, 施用次序, 释放, 固定

钾是重要的植物养分。施入的钾肥和土壤中原有的钾素, 在钾素形态的动态平衡过程中, 发生钾的释放或固定。土壤矿物对钾的固定、释放有明显影响, 然而在同一类型土壤, 矿物组成相近的情况下, 钾的释放和固定又受其它因素的影响, 这些因素有土壤水分和其它陪伴离子等。关于水分对土壤钾素释放、固定的影响, 我们曾进行过研究^[1]。

由于 NH_4^+ 的直径 (0.286nm) 和 K^+ 的直径 (0.266nm) 相近, 在粘土矿物晶格中的固定机制也类似, 因而成为影响土壤钾素释放、固定的重要因素之一。一般认为, 铵态氮肥可以提高土壤钾素的有效性, 但 Singh 和 A. P. Singh^[2] 的研究结果却表明, 土壤钾素的有效性随铵态氮肥用量的增加而降低。也有人认为, 大量施用铵态氮肥后, 晶层间的钙、镁离子被代换, 使钾紧闭在孔穴内, 非交换性钾的释放能力降低^[2]。A. K. Kar^[4] 等报道, 先施铵态氮肥, 随后施钾可减少钾的固定。可见, 这一问题的研究, 对合理施肥, 提高土壤钾素有效性具有实践意义。

一、材料与方 法

供试土壤有玄武岩、黄土物质等不同母质发育的 8 种土壤, 其一般性质见表 1。这些土壤的钾素含量和矿物组成差异较大。本试验共分下述四个部分:

(一) 不同铵量对土壤钾素释放、固定影响的试验

按 0、50、100、200、400 $\mu\text{g NH}_4\text{-N/g}$ 土 (分别以 N_0 、 N_{50} 、 N_{100} 、 N_{200} 、 N_{400} 表示) 五级用量, 将 NH_4Cl 溶液加入 5g 和 10g 风干土样中, 分别在淹水和干湿交替条件下培育 28 天。重复 3 次。淹水培育在 28°C 保温箱中进行, 然后用湿土直接测定(下同)。在室温下进行干湿交替培育, 先调节土壤水分到田间持水量, 保持一周, 然后风干一周; 再加水调节至田间持水量并保持一周, 再风干一周; 用于测定。

表 1 供试土壤的一般性质
Table 1 Properties of investigated soils

土壤 Soil	成土母质 Parent material	采集地点 Locality	pH	粘粒含量 (%) Content of clay	交换性钾 缓效性钾 ($\mu\text{g K/g 土}$)		矿物组成 Composition of clay minerals
					Exch. K	Slowly av- ailable K	
水稻土	玄武岩风化物	广东徐闻	5.16	78.7	113.3	8.0	高岭石, 三水铝石
黑泥土	石灰岩风化物	广西来宾	6.50	18.1	21.6	18.4	14埃过渡矿物, 高岭石
黄泥土	第四纪红色粘土	江西进贤	4.87	24.5	93.3	66.7	高岭石、云母、绿泥石、伊利石
黄泥土	太湖湖积物	江苏无锡	6.76		136.7	279.9	伊利石、绿泥石、蛭石、高岭石
水稻土	长江冲积物	上海南汇	7.78	40.8	152.7	805.6	云母、蒙脱石、蛭石、伊利石
紫色土	紫色页岩风化物	湖南衡阳	7.06	63.3	190.0	426.7	伊利石、蒙脱石、高岭石、蛭石
粘质潮土	黄河冲积物	河南新乡	8.50	30.9	173.9	934.3	伊利石、蒙脱石、高岭石、绿泥石
黑钙土	黄土物质	黑龙江爱辉	6.65	29.2	202.2	847.8	蒙脱石、伊利石、绿泥石、高岭石

(二) 铵对肥料钾固定影响的试验

分别用 0.1mol/L 的 NH_4Cl 和 0.05mol/L CaCl_2 溶液淋洗土壤, 至滤液中钾不再减少, 再用蒸馏水洗至无 Cl^- , 风干备用。

分别称取 10g 经铵、钙淋洗和未经淋洗处理的土壤, 加入 1mg 钾 (K), 淹水培育 15 天。重复 3 次。

(三) 铵、钾施用次序对肥料钾固定影响的试验

试验共设 7 个处理: (1) 对照(0/0); (2) 单施铵 ($\text{NH}_4/0$); (3) 施铵一周后施钾 (NH_4/K); (4) 淹水一周后施铵、钾混合液(0/ $\text{NH}_4 + \text{K}$); (5) 施钾一周后施铵 (K/NH_4); (6) 单施钾 ($\text{K}/0$); (7) 淹水一周后单施钾 (0/ K)。土重 10g, 铵、钾用量分别为 150 $\mu\text{g NH}_4\text{-N/g 土}$ (用 NH_4Cl), 75 $\mu\text{g K/g 土}$ (用 KCl)。各处理在淹水条件下培育 21 天。重复 3 次。

上述三个试验各培育土样均用 1mol/L 中性醋酸铵法测定土壤交换性钾, 用 1mol/L HNO_3 煮沸 10 分钟测定酸溶性钾。

(四) 温室生物试验

选用徐闻水稻土和无锡黄泥土, 每盆装土 250g。处理和铵、钾用量与试验(三)相同。淹水培育二周后种植经催芽的水稻, 生长 18 天后收获地上部分, 测定植株的干重和全钾含量 (常规法)。重复 4 次。

二、结果与讨论

(一) 铵对土壤钾素释放的影响

加铵处理后用 1mol/L 中性醋酸铵提取的交换性钾量减去未加铵处理提取的钾量, 视为土壤释放的钾。表 2 结果表明, 在淹水条件下, 除来宾黑泥土外, 其余土壤当加入的铵量在 100 $\mu\text{g NH}_4\text{-N/g 土}$ 以上时, 土壤交换性钾含量均有显著增加, 其中进贤黄泥土增加最多, 比不施铵的高 6—21 $\mu\text{g K/g 土}$, 增加 7.9—27.8%。干湿交替条件下, 不同浓

表 2 铵对土壤钾素释放的影响

Table 2 The effect of NH_4^+ ion on potassium release in soil

土 壤 Soil	1mol/L NH_4OAc 提取的钾 ($\mu\text{g K/g}$ 土) Amount of K extracted with 1 mol/L NH_4OAc									
	淹水培育 Submerged incubation					干湿交替培育 Alternate wetting and drying				
	N_0	N_{50}	N_{100}	N_{200}	N_{400}	N_0	N_{50}	N_{100}	N_{200}	N_{400}
水稻土(徐闻)	106.7	108.0	112.9	112.9	115.6	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7
黑泥土(来宾)	21.6	21.6	21.6	21.6	23.2	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
黄泥土(进贤)	75.6	81.6	84.6	91.8	96.6	37.0	87.0	87.0	87.0	87.0
黄泥土(无锡)	129.6	131.9	133.2	135.0	136.8	134.7	136.4	136.4	136.4	143.1
水稻土(南汇)	151.8	153.0	154.8	154.8	154.8	160.5	161.6	165.2	165.2	168.3
紫色土(衡阳)	187.2	187.2	190.8	192.6	194.4	198.6	200.3	200.3	202.0	203.7
粘质潮土(新乡)	165.6	170.4	172.2	172.8	176.4	182.9	178.4	179.5	186.3	191.9
黑钙土(爱晖)	194.4	194.4	198.0	198.0	198.0	198.6	198.6	193.6	202.0	205.4

表 3 铵对水稻幼苗干物质产量和吸钾量的影响 ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$)Table 3 The effect of NH_4^+ ion on dry matter yield and uptake of K from young plant of rice

土 壤 Soil	0/0		$\text{NH}_4/0$	
	干物质重 (g/100g 土) Weight of D.M.	吸钾量 (mg K/100g 土) K uptake	干物质重 (g/100g 土) Weight of D.M.	吸钾量 (mg K/100g 土) K uptake
水稻土(徐闻)	0.66 ± 0.02	12.3 ± 0.3	0.81 ± 0.02	12.3 ± 0.1
黄泥土(无锡)	0.67 ± 0.01	18.8 ± 0.2	0.79 ± 0.01	19.0 ± 0.1

度铵态氮对徐闻水稻土、来宾黑泥土和进贤黄泥土的钾素释放无影响。其余土壤的交换性钾有不同程度的增加,加入 $400 \mu\text{g NH}_4\text{-N/g}$ 土时增加 2.5—5.9% (达 1% 显著水准)。

以前的研究结果表明^[4], 田间潮湿土壤在室内风干后, 土壤交换性钾有不同程度的增加。Scott^[6] 的工作指出, 干土重新湿润后, 干燥时释放的钾又被固定而减少了。将本试验结果与用风干土测定的结果(见表 1)比较, 在淹水条件下, 不加铵时, 除来宾黑泥土无变化外, 其余土壤的交换性钾都低于风干土的测定值, 尤其是进贤黄泥土, 交换性钾减少了 $17 \mu\text{g K/g}$ (减少 18.4%)。这表明这些土壤因风干而释放的钾, 在复水后又重新被固定, 但加铵后由于 NH_4^+ 占据了粘土矿物上的吸附位, 阻止了钾的重新吸附固定, 使已释放的钾得以继续保持其有效性。在干湿交替条件下, 上述现象不明显。再从水稻幼苗的吸钾量来看(表 3), 无论是徐闻水稻土还是无锡黄泥土, 尽管施用铵态氮肥 ($\text{NH}_4/0$) 后干物质产量都有显著提高, 但水稻幼苗的吸钾量并未增加。以上结果均表明铵在提高

表 4 铵对土壤酸溶性钾的影响

Table 4 The effect of NH_4^+ ion on acid-soluble K in soil

土 壤 Soil	酸溶性钾降低量 ($\mu\text{g K/g 土}$) Decrease of acid-soluble K				
	淹水培育 Submerged incubation N_{100}	干湿交替培育 Alternate wetting and drying			
		N_{50}	N_{100}	N_{200}	N_{400}
水稻土(徐闻)	0.0	0.7	3.3	3.5	3.0
黑泥土(来宾)	0.0	0.0	0.1	0.0	2.7
黄泥土(进贤)	8.3	8.0	8.0	8.0	20.1
黄泥土(无锡)	8.3	0.0	0.0	8.4	8.4
水稻土(南汇)	33.3	0.0	0.0	8.5	33.7
紫色土(衡阳)	45.0	28.1	28.1	28.1	56.1
粘质潮土(新乡)	75.0	0.0	16.8	22.4	56.1
黑钙土(爱晖)	18.7	2.8	2.8	25.2	14.0

表 5 铵、钙淋洗处理土壤对肥料钾固定的影响

Table 5 The effect of leaching soil by NH_4^+ and Ca^{++} on fixation of fertilizer K

土 壤 Soil	肥料钾固定率(%) Fertilizer K fixed		
	未淋洗土 Unleached soil	铵淋洗土 NH_4^+ -leached soil	钙淋洗土 Ca^{++} -leached soil
水稻土(徐闻)	3.3	-0.1	5.5
黑泥土(来宾)	10.1	-1.3	10.7
黄泥土(进贤)	3.7	6.4	22.6
黄泥土(无锡)	28.6	3.4	29.0
水稻土(南汇)	25.9	3.5	26.0
紫色土(衡阳)	37.4	4.6	38.6
粘质潮土(新乡)	18.4	9.1	14.9
黑钙土(爱晖)	25.0	2.4	19.3

土壤原有钾素的有效性方面作用不大。

不加铵处理的土壤用 1mol/L HNO_3 煮沸 10 分钟提取的酸溶性钾量, 减去加铵处理后提取的钾量, 反映了土壤有效性钾进一步降低的程度。从表 4 的结果可见, 在干湿交替条件下, 铵的浓度低时, 除衡阳紫色土的酸溶性钾显著减少外, 其余土壤无明显变化。铵浓度高时, 徐闻水稻土, 来宾黑泥土无论在淹水还是在干湿交替条件下酸溶性钾减少均不明显, 这是因为这两种土壤的粘土矿物是以高岭和 14 埃过渡矿物为主, 固钾能力极低, 本

身缓效性钾含量就很低的缘故。其余土壤加大量铵后酸溶性钾显著减少。酸溶性钾降低较多的土壤是南汇水稻土、衡阳紫色土、新乡粘质潮土,加入 $400 \mu\text{g NH}_4\text{-N/g (N}_{400})$ 时酸溶性钾减少了 $33\text{—}75 \mu\text{gK/g}$, 其原因是这些土壤所含的粘土矿物主要是云母和伊利石,当大量铵加入后, NH_4^+ 将位于层间边缘的 Ca^{++} 、 Mg^{++} 离子代换出来,使层内钾离子更紧闭在层间复三角孔穴中,难于为 1mol/L HNO_3 提取。也以 2:1 型粘土矿物为主的爱晖黑钙土,由于是以固定能力不强的蒙脱石为主,所以酸溶性钾降低不如南汇水稻土、衡阳紫色土和新乡粘质潮土多。

目前,在我国农业生产实践中,偏施铵态氮肥而少施或不施钾肥,可以推想,这一方面加速了土壤钾的消耗,另一方面,因铵在土壤中积累固定,使固定态钾由于铵的固定阻塞而难于释放,这会造成土壤缺钾更为严重,因此平衡施肥在农业生产中是很重要的。

(二) 铵对土壤固定肥料钾的影响

从表 5 可见,这 8 种土壤未经铵、钙淋洗处理时加入的肥料钾有 $3.3\text{—}37.4\%$ 被固定。铵淋洗处理后,加入肥料钾的固定率只有 $1.3\text{—}9.1\%$,除进贤黄泥土略有增加,徐闻水稻土无明显变化外,其余六个土壤的固钾率都显著低于未淋洗土壤。钙淋洗土壤的肥料钾固定率为 $5.5\text{—}38.7\%$,与未淋洗土比较,除个别土壤有所减少,进贤黄泥土有明显增加外,其余土壤变化不大。

表 6 列出了经铵、钙淋洗后的土壤的 pH 和交换性钾含量。无锡黄泥土、南汇水稻土、衡阳紫色土、新乡粘质潮土和爱晖黑钙土经铵淋洗后土壤的交换性钾虽从原来的 $136.7\text{—}202.2$ (表 1)降低到 $26.7\text{—}60.0 \mu\text{g K/g}$,但这些土壤上加入肥料钾的固定率却显著减少,表明铵淋洗后,离子半径与钾相近的 NH_4^+ 置换了 K^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 进入伊利石、蒙脱石、蛭石等 2:1 型粘土矿物的层间,占有了矿物层间的固定位,由于其水化能较低(380kJ/mol),易脱去水化壳,矿物层间收缩而被固定为固定态铵。一般认为固定态铵不易为钾所代换,施钾反而会抑制它的释放^[3],因而土壤对肥料钾的固定能力明显降低。被矿物层间吸附位吸附的 Ca^{++} 则易为 K^+ 代换,而这五个土壤胶体上的吸附离子原已以钙为主,因而钙淋洗后土壤对加入肥料钾的固定率与未淋洗土相近,影响不大。 NH_4^+ 和 Ca^{++} 对土

表 6 铵、钙淋洗处理后土壤的 pH 和交换性钾含量 ($\mu\text{g K/g 土}$)

Table 6 The pH and content of exchangeable K after leaching soil by NH_4^+ and Ca^{++}

土壤 Soil	铵淋洗土 NH_4^+ -leached soil		钙淋洗土 Ca^{++} -leached soil	
	pH	交换性钾 Exch. K	pH	交换性钾 Exch. K
水稻土(徐闻)	6.43	6.1	5.70	12.2
黑泥土(来宾)	6.81	6.7	7.18	11.1
黄泥土(进贤)	6.70	7.8	5.70	23.3
黄泥土(无锡)	7.00	34.4	7.60	69.4
水稻土(南汇)	7.19	58.3	8.03	83.3
紫色土(衡阳)	7.32	60.0	7.57	129.4
粘质潮土(新乡)	8.67	26.7	8.59	103.3
黑钙土(爱晖)	7.04	50.0	7.37	93.3

表 7 铵、钾施用次序对肥料钾固定的影响

Table 7 The influence of sequence of NH_4^+ and K^+ application on fixation of fertilizer K

土 壤 Soil	肥料钾固定率(%) Fertilizer K fixed				
	NH_4/K	$0/\text{NH}_4+\text{K}$	K/NH_4	$\text{K}/0$	$0/\text{K}$
水稻土(徐闻)	6.0	5.5	6.8	10.4	9.5
黑泥土(来宾)	8.9	7.3	8.9	12.1	10.7
黄泥土(进贤)	0.8	1.7	3.1	7.7	5.7
黄泥土(无锡)	12.3	12.4	28.8	30.1	22.6
水稻土(南汇)	11.2	11.1	26.8	26.7	20.7
紫色土(衡阳)	10.1	21.1	29.3	30.7	22.7
粘质潮土(新乡)	4.7	4.7	14.9	22.3	19.3
黑钙土(爱晖)	17.8	24.1	30.5	41.7	38.3

壤固钾的不同影响在进贤黄泥土上更明显,这种酸性土主要含高岭外,还含有云母、伊利石,经钙淋洗后 pH 从原来的 4.87 提高到 5.70,土壤胶体上吸附离子变为以钙为主时,施入钾的固定率显著提高,从原来的 3.7% 提高到 22.6%,增加 18.9%。而用铵淋洗后土壤 pH 虽提高到 6.70 (表 6),但肥料钾的固定率仅为 6.4%,与未淋洗时比只增加了 2.7%。徐闻水稻土所含的粘土矿物主要是高岭和三水铝石,故钙淋洗和铵淋洗一样,对固钾无显著影响。

土壤对铵的吸附固定阻碍了对肥料钾的吸附固定。这在固钾作用强的土壤上固然可以提高钾肥的有效性,但同时又易造成钾的流失,这是不利的一面。

(三) 铵、钾施用次序对肥料钾固定的影响

由表 7 结果可见,所有处理中,单施钾处理 ($\text{K}/0$) 由于没有 NH_4^+ 的竞争,固钾百分率最高,为 7.7—41.7%。铵、钾施用次序对以高岭石,14 埃过渡矿物为主的徐闻水稻土,来宾黑泥土的固钾无显著影响。对以 2:1 型粘土矿物为主的无锡黄泥土、衡阳紫色土、南汇水稻土、新乡粘质潮土

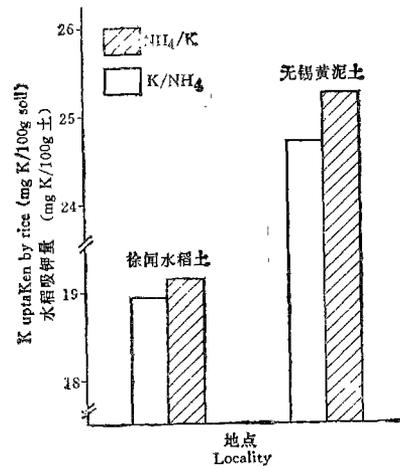


图 1 铵、钾施用次序对水稻幼苗吸钾的影响

Fig. 1 The influence of sequence of NH_4^+ and K^+ application on K uptake by young plant of rice

和爱晖黑钙土则影响较大。在施铵一周后施钾 (NH_4/K), 铵钾同时施 ($0/\text{NH}_4+\text{K}$) 和施钾一周后施铵 (K/NH_4) 这三种处理中,则以先施铵后施钾处理的肥料钾固定率最低,只有 4.7—17.8%。先施钾后施铵时肥料钾固定率最高,为 14.9—30.5%。即使扣除单施钾 ($\text{K}/0$) 和淹水一周后单施钾 ($0/\text{K}$) 固定时间长短不同造成的差异,先施钾后施铵处理的固钾率仍比先施铵后施钾的高 9.0—11.2% (达 1% 显著水准)。铵、钾同时施的固定率居中,有 4.7—24.1% 的肥料钾被固定。这表明铵离子和钾离子对粘土矿物固

定位的竞争不但与铵、钾浓度有关,还和施用次序有关,先施者由于无另一离子的竞争,优先占有固定位而减少了土壤矿物对后者的吸附固定。据 E. G. Beauchamp^[3] 报道,铵、钾的固定速率很快,第一天施的铵即可减少第二天施的钾的吸附固定,反之亦然。

铵和钾施用次序对肥料钾固定的这种影响,也影响到作物对钾的吸收。从图 1 可见,先施铵后施钾处理的水稻幼苗植株吸钾略高于先施钾后施铵处理的,但差异不显著,这可能与集约种植有关。在大田条件下,铵态氮肥和钾肥施用次序对其有效性和作物氮、钾营养的影响程度,也应因土壤类型而异,这需进一步研究。

参 考 文 献

1. 彭千涛、范钦楨,1984: 水分和温度对土壤钾素释放、固定影响的初步研究。土壤学报,第 21 卷 4 期,387—394 页。
2. 谢建昌,1981: 土壤钾素研究的现状和展望。土壤学进展,第 1 期,1—16 页。
3. Beauchamp, E.G., 1982: Fixed ammonium and potassium release from two soil. *Soil Sci. and Plant analysis*, 13(11): 927—943.
4. Kar, A.K., J.P. Chattopadhyay and S.P. Dhua, 1975: Relative fixation of added potassium and ammonium in some acid soils. *J. Indian S.S.S.*, 23 (4): 428—433.
5. Nielsen, J. Dissing., 1972: Fixation and release of potassium and ammonium ions in Danish soils. *Plant and Soil*, 36 (1): 71—88.
6. Scott, A. D. and J.J. Hanway, 1960: Factors influencing the changes in exchangeable soil K observed on drying. 7th International Congress of Soil Science Madison WISE Wise, Vol. III, 72—79.
7. Singh, B. and A.P. Singh, 1979: Fixation of potassium in soil as affected by an ammoniacal fertilizer. *J. Indian S.S.S.*, 27 (3); 272—276.

INFLUENCE OF AMMONIUM ON RELEASE AND FIXATION OF POTASSIUM IN SOIL

Fan Qinzhen

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008*)

Summary

Influence of ammonium on release and fixation of potassium in soils was studied with eight soils derived from basalt, loess sediment etc. The increasing in availability of potassium in the soils was little by adding various amounts of ammonium under condition of submergence or alternate wetting and drying, but after wetting NH_4^+ can prevent new fixation of K released from soil through air-dried, thus keeping availability of potassium in the soil. For soils with mica and illite as dominant clay minerals, K extracted with 1 mol/L boiling HNO_3 from soil added with NH_4^+ is 33—75 μg K/g less than that from soil without adding NH_4^+ . It indicates that NH_4^+ can efficiently make potassium be occluded in the ditrigonal hole of 2:1 minerals, and the potassium will release difficultly.

Fertilizer K fixed in soils without leaching with NH_4^+ and Ca^{++} is 3.3—37.4%. After Ca^{++} leaching, it has no more change compared with soils without leaching, except very few soils. The capacity of K fixation is greatly decreased in soils with NH_4^+ leaching, only about 4% of fertilizer K is fixed. NH_4^+ fixed in soils may decrease the fixation of K from fertilizer and increase K fertilizer efficiency, but often could cause leaching loss of K. Effects of NH_4^+ and Ca^{++} on K fixation in soils depend on the composition of clay minerals in soil.

The sequence of applying NH_4^+ and K^+ significantly influences the fixation of fertilizer K in soil. After 7 days of applying NH_4^+ followed by applying K, the fixation percentage of added K is the least, being 4.7—17.8%, and it is the highest, being 14.9—30.5%, when K^+ was added 7 days before applying NH_4^+ . When K^+ and NH_4^+ are added simultaneously, it is intermediate, being 4.7—24.1%.

Key words Ammonium, Potassium, Sequence of fertilizer application, Release, Fixation