

水分和温度对土壤钾素释放、固定影响的初步研究*

彭千涛 范钦桢

(中国科学院南京土壤研究所)

钾是植物的重要养分之一。由于土壤中存在不同的矿物,因而产生钾的释放和固定,但这一过程受到很多因素的影响,其中水分状况是重要因素之一。多年来水分状况对钾素释放、固定影响的问题,受到了土壤研究者的注意,但是,到目前为止仍无一致的结论,例如 Omuetiand 等^[1]认为,用风干土测定的交换性钾能很好反映土壤供钾状况,而 Lucbs 等^[2]则认为,以用新鲜潮湿土测定为好。为了更好的反映土壤当季的供钾水平,合理使用钾肥,以及发挥土壤钾素的潜力,因此这一问题的研究是有实践意义的,现将研究结果报告如下。

一、材料与方 法

供试土壤的成土母质有花岗岩风化物等多种成土母质,这些土壤采自广东、贵州、湖南、江西、福建、浙江、江苏、四川、河南、陕西、吉林、新疆、北京、上海等十四省市,共采集 100 个样品,采集后将其密封于塑料袋中。

土壤理化性质的测定:土壤交换性钾用中性 $1\text{N NH}_4\text{OAc}$ 提取法;缓效性钾用 1N HNO_3 煮沸 10 分钟提取法;土壤全钾用 Na_2CO_3 半溶法。土壤阳离子交换量用 EDTA-铍盐快速法。土壤颗粒分析用吸管法。粘土矿物的估测由 Mg-甘油水溶液制成定向薄片,用 X 射线分析。植株钾用 0.5N HCl 浸提过夜,过滤,用火焰光度法测定。其中 15 个土壤测定了粘土矿物组成。所有结果列于表 1。

风干处理试验:用密封于塑料袋的潮湿土壤,在室温下风干 7 天,分别测定土壤交换性钾。

温室培育试验:小麦用 31 个土壤,水稻用 21 个,每钵盛田间潮湿土 200 克,施足氮、磷,重复三次。一个月后收割地上部分。

淹水处理试验:选用 24 个潮湿土壤,每个土壤取 10 克 (105°C 烘干土为基础,下同),分别放入铝盒中,淹水 90 天。重复三次。

干湿交替处理的试验:选用 7 个潮湿土壤,各取 10 克,置入铝盒中,设四个处理:(1)继续保持潮湿;(2)室温下风干 7 天(为第一次干湿过程);(3)室温风干 7 天后,再调整到潮湿土壤含水量,保持潮湿 7 天;(4)在(3)的基础上再在室温下风干 7 天[(3)、(4)为第二次干湿过程]。重复三次。

不同温度干燥对土壤钾素的释放、固定试验;6 个处理:处理 (1)、(2) 同上述风干处理试验;(3)、(4)、(5)、(6) 分别进行电热鼓风箱 60°C 、 105°C 烘 24 小时、马福炉 200°C 、 400°C 烘 8 小时。

钾素固定试验:用 5 个潮湿土壤,每个取 10 克,分别加入钾(K)1 或 3 毫克,调整到田间含水量后,平衡一个月,重复三次。

* 本工作是在谢建昌同志指导下完成的。

表 1 土壤理化性质
Table 1 The physical and chemical properties of soils

土号 Soil No.	地点 Locality	母质 Parent material	pH	全钾 (K%) Total K	缓效性钾 (K mg/100g) Slowly available K	交换性钾 (K mg/100g) Exchangeable K	阳离子交换量 (meq/100g) CEC	钾饱和度 (%) Degree of saturation	粘粒(%) Clay		粘土矿物组成* Composition of clay minerals
									<0.001mm	<0.01mm	
133	广东徐闻	玄武岩风化物	5.5	0.32	3.3	4.4	12.3	0.9	47.8	73.0	K, G, T
101	福建漳浦	玄武岩风化物	7.2	0.69	17.8	5.5	42.6	0.3	36.4	59.8	M, K
86	江西宜春	石灰岩风化物	6.2	1.44	19.3	3.4	10.7	0.8	6.7	38.2	
63	贵州平坝	石灰岩风化物	6.3	1.02	17.9	6.1	18.4	0.8	14.7	55.2	
53	四川重庆	紫色砂页岩风化物	7.6	0.95	48.0	14.4	18.9	1.9	20.9	51.2	M, H, K
84	湖南衡阳	紫色砂页岩风化物	7.8	2.12	46.8	18.1	22.2	2.0	30.0	64.2	H, K, V, M
85	江西进贤	第四纪红色粘土	5.5	0.86	6.1	7.2	4.2	4.3	16.1	48.9	
79	湖南桃源	第四纪红色粘土	6.2	1.24	20.9	6.1	11.4	1.3	13.2	63.3	
96	福建南安	花岗岩风化物	5.4	0.65	4.6	2.8	1.4	5.1	8.4	14.7	K, C, V, G
95	福建南安	花岗岩风化物	6.3	0.65	4.6	10.8	5.0	5.5	24.8	45.0	K, C, V, G
66	广东番禺	珠江冲积物	6.0	1.63	23.4	4.5	14.3	0.8	30.9	58.3	
98	福建龙溪	九龙江冲积物	4.9	0.98	40.0	6.7	4.5	3.8	11.1	30.1	K, H, V, C, G
119	江苏常熟	长江冲积物	5.0	1.00	17.1	2.2	4.7	1.1	7.2	18.9	H, M, K, C, V
125	江苏常熟	长江冲积物	8.3	1.44	52.5	6.0	9.5	1.6	15.0	35.4	
121	江苏常熟	长江冲积物	6.3	1.79	51.3	7.6	16.1	1.2	21.0	52.3	H, M, C, K
78	湖南华容	洞庭湖冲积物	8.4	1.95	35.8	7.1	10.9	1.6	27.1	62.6	
83	湖南汉寿	洞庭湖冲积物	5.9	1.98	43.8	15.9	8.5	4.7	12.7	46.5	K, H, C
107	江苏徐州	黄河冲积物	8.4	1.18	54.7	4.3	3.7	2.9	8.1	14.0	H, K, M, V
17	河南封丘	黄河冲积物	9.0	1.66	82.7	8.6	3.8	5.7	7.8	19.7	
26	陕西武功	黄土	8.2	1.46	131.2	16.4	9.7	4.3	25.4	52.0	
1	江苏吴县	黄土状物质	5.4	1.20	21.5	6.5	16.2	1.0	26.9	68.7	H, M, C, K
118	江苏江宁	下蜀黄土	6.6	1.53	67.8	11.3	22.3	1.2	22.5	68.5	H, K, M, V
129	江苏丹阳	湖积物	5.8	1.56	53.7	11.1	26.1	1.0	45.7	72.2	H, K, C, V
50	吉林	黄土	6.3	1.77	85.3	18.2	28.9	1.6	28.0	49.7	M, H, C, K
41	新疆木垒	黄土	8.5	1.66	135.0	26.0	7.0	9.4	22.0	43.7	

注: K:高岭石, H:水云母, M:蒙脱石, V:蛭石, C:绿泥石, G:三水铝矿, T:14Å 过层矿物。
* 粘土矿物由蒋梅西同志分析,谨此致谢。

二、结果与讨论

(一) 土壤干、湿对钾素释放和固定的影响

1. 风干处理的影响 100 个田间潮湿土壤经过室内风干处理, 可使土壤交换性钾含量有不同的变化, 如 129 号、63 号土潮湿状态时分别为 5.1、2.7 毫克, 风干后分别增加至 11.1、6.1 毫克。99 号土潮湿状态时为 4.6 毫克, 风干后减少至 4.2 毫克。这种风干后交换性钾增加与减少的土壤分别简称为释钾土壤和固钾土壤。100 个样品释钾土壤占 96%, 其余 4% 为固钾土壤。释钾土壤, 释放率为 1.2—129.4% (以潮湿土测得的交换性钾为基础), 固钾土壤, 固定率为 2.1—19.2%。

为了了解潮湿土壤与风干土壤交换性钾变化之间的关系, 根据释钾程度的不同, 将释钾土壤分为三组, 第一组为释钾低的土壤(释放率 10% 以下), 第二组为释钾中等的土壤(释放率平均为 36%), 第三组为释钾高的土壤(释放率平均 83%)。第一、二、三组土壤, 田间潮湿状态时的交换性钾量, 与风干土时的交换性钾量之间的相关性 r 分别为 0.996**、0.995** 和 0.949**。第三组的相关性相对略小, 即释钾较高的土壤, 由潮湿土与风干土测得的交换性钾之间的相关性要比释钾稍低的土壤略小一些。

生物试验是检验土壤钾素有效性的重要方法之一。为此, 选出释钾低、高二组土壤, 进行了小麦、水稻两次幼苗试验。然后将潮湿土和风干土测得的交换性钾量分别与小麦、水稻的吸钾量作了相关统计。结果表明(表 2), 释钾低的土壤, 无论是小麦或水稻试验, 用潮湿土或风干土测得的钾量与吸收量之间的相关性, 两者无明显差异。但释钾高的土壤, 用田间潮湿土测得的交换性钾量与作物吸收的相关性要大于风干土测得的相关性。

根据上述结果, 潮湿土壤经过风干发生固定的多是交换性钾水平低的缺钾土壤, 且固定量最高只达 19.2%, 用风干土或用潮湿土测得的值对指标的说明影响不大。但对释钾

表 2 作物吸钾量与土壤钾素的相关性(r)值

Table 2 The correlation coefficient between K uptaken by crop and K content in soil

土 壤 组 合 Soil association		小麦吸钾量 K uptaken by wheat	水稻吸钾量 K uptaken by rice
释钾低的土壤 Soil of slowly released K	潮湿土 K 量	0.969**	0.875**
	风干土 K 量	0.969**	0.860**
释钾高的土壤 Soil of rapidly released K	潮湿土 K 量	0.819**	0.877**
	风干土 K 量	0.773**	0.817**

量大的土壤必须考虑这样的事实, 即风干土得到的测定值可大于大田潮湿条件下的, 且风干土与潮湿土测得到的交换性钾之间的相关性较低, 再从生物试验说明, 释钾高的土壤, 小麦、水稻吸钾量与潮湿土交换性钾量之间的相关性, 大于与风干土交换性钾量之间的相关性, 故释钾高的土壤, 用风干土进行的分析难以反映田间的实际情况, 但考虑到大部分释钾高的土壤一般对钾肥没有明显的反应, 为了操作方便, 交换性钾的测定仍可用风干土。

但对那些释钾高而缓效性钾中等偏下的土壤(如江苏南部地区的一些水稻土),用风干土测定值作为施肥指标时,不能反映田间的实际情况,往往认为钾肥无效的土壤,在大田条件下,可能对钾肥有反应,故测定时以潮湿土壤为宜。

2. 淹水处理的影响 田间潮湿土壤经过淹水后,交换性钾有增有减。含钾较丰富的紫色砂页岩风化物及质地较粘重的湖积、冲积物发育的9个土壤增加较多(平均增14.2%)。含钾不丰富的石灰岩、玄武岩风化物、第四纪红色粘土及质地较轻的湖积、冲积物发育的9个土壤,基本上没有变化。颗粒粗的花岗岩、红砂岩风化物、浅海沉积物等发育的6个土壤略有减少(平均减少7.4%),淹水对钾素的释放作用,主要是那些含钾量高而对钾肥无明显反应的土壤,而对一般缺钾土壤,通过淹水来增加土壤有效性钾的实践意义是有限的。

3. 干湿交替处理对钾素的影响 经过两次干湿交替后,以水云母或蒙脱石为主的4个土壤,交换性钾量有显著增加(平均增加72.9%),以高岭石为主的3个土壤交换性钾变化小(平均增加4.1%),看来一些释钾低的土壤,采用干湿交替的农业措施,难以增加土壤钾素的有效性。

(二) 不同温度干燥对土壤钾素释放、固定的作用

从上述100个土壤中,选有代表性的25个进行不同温度的处理。结果表明(表3),在风干的情况下所有土壤交换性钾都有不同程度的增加,平均增加37.4%。在60℃干燥时,平均增加73.0%,其中增加150%以上的土壤有5个,增加13—135%之间的有14个,有4个土壤出现负值(-1.6—-5.1%),即表现钾有固定。在105℃干燥时,平均增加79.6%,除了部分土壤较在60℃干燥时略有增加外,其它土壤类似于60℃干燥的结果,发生固定的土壤也较60℃时略多。在200℃干燥时,平均增加196.3%,除了83、95号土继续出现负值外(分别-16.0%、-23.5%),其它土壤均有释放,释放最高者为129号,增加574.2%,释放最低者为98号,仅增加26.9%。在400℃干燥时平均增加658.8%(129号增加高达1938.7%),95号土仍然出现负值(-10.1%)。

以上结果表明,25个土壤在不同干燥程度下,有不同的钾素释放。将其释放量与土壤原来的缓效性钾、矿物钾、钾饱和度进行相关统计,结果表明(表4),缓效性钾量与潮湿土、风干土、60℃、105℃、200℃干燥后交换性钾量之间的相关性要大于与400℃烘干土交换性钾量之间的相关性,这说明温度低于200℃时,释放的钾素主要来自缓效性钾。矿物钾量与潮湿土交换性钾量的相关性最小,随着温度增加相关性随之增大,至400℃时相关性达最大,这说明,400℃干燥时,释放出的钾素主要来自矿物钾。钾饱和度与潮湿土交换性钾量的相关性大于与其它干燥温度样品的相关性,而且随着温度增加相关性随之降低,这说明自温度60℃以上所释放出的钾主要不是来自吸附态钾。风干土钾的释放与土壤阳离子交换量、粘粒含量有一定关系(表1)。但用钾饱和度(即土壤交换性钾占阳离子交换量百分数)更能反映释放的情况,当钾饱和度低于1.3%时,风干土较潮湿土交换性钾增加量高达23—131%,钾饱和度在1.6—2.0%时,增加量在16—40%,钾饱和度在2.9%以上,增加量低于15%。

表5表明了不同温度干燥对含三种粘土矿物类型土壤释放、固定的影响。风干干燥

表 3 不同温度干燥对钾素释放、固定的影响

Table 3 The effect of drying under different temperature on release and fixation of potassium

土号 Soil No.	潮湿土 (Kmg/100g) Moist soil	风干土增加 (%)* Increase of K in air-dried soil (%)	60°C烘干土增加 (%)* Increase of K in oven-dried soil under 60°C	105°C烘干土增 加(%)* Increase of K in oven-dried soil under 105°C	200°C烘干土增 加(%)* Increase of K in oven-dried soil under 200°C	400°C烘干土增 加(%)* Increase of K in oven-dried soil under 400°C
133	3.2	35.9	35.9	33.3	159.0	189.7
101	3.4	61.0	239.0	239.0	387.8	607.3
86	2.7	28.1	40.6	46.9	131.3	525.0
63	2.7	131.3	171.9	171.9	337.5	1534.4
53	12.4	16.1	29.5	55.7	157.7	453.0
84	13.9	30.5	46.7	79.0	204.8	846.1
85	6.3	14.5	25.0	10.5	43.4	257.9
79	4.0	52.1	62.5	77.1	214.6	945.8
96	2.7	3.0	-3.0	-9.1	36.4	60.6
95	9.9	9.2	-2.5	-21.8	-23.5	-10.1
66	2.8	38.8	117.6	147.1	323.5	1388.2
98	6.5	3.8	-5.1	0	26.9	170.5
119	1.7	23.8	71.4	71.4	281.0	1042.9
125	4.3	38.5	80.8	80.8	221.2	630.8
121	4.0	91.7	172.9	181.3	437.5	1331.3
78	5.3	34.4	43.8	68.8	182.8	656.3
83	15.5	2.1	-1.6	-18.2	-16.0	52.9
107	4.0	8.3	20.8	25.0	141.7	462.5
17	8.1	7.2	—	16.5	50.5	200.0
26	15.0	8.8	13.3	22.7	77.9	260.2
1	3.8	69.6	134.8	163.0	360.9	1069.6
118	6.2	81.3	150.7	173.3	390.7	1260.0
129	5.1	116.2	240.3	282.3	574.2	1938.7
50	14.8	23.0	66.9	85.4	169.1	454.5
41	24.7	5.0	0	7.0	37.2	141.6

* 增加%均以潮湿土含量为基础。

表 4 不同水分状况下交换性钾含量与土壤原来不同形态钾的相关系数(r)值

Table 4 The correlation coefficient between content of exchangeable K under different moisture regimes and different forms of K in soils originally

处 理 Treatment	缓效性钾 Slowly available K	矿物钾* Mineral K	钾饱和度(%) Degree of K saturation
潮 湿 土 Moist soil	0.728**	0.358	0.649**
风 干 土 Air-dried soil	0.744**	0.446*	0.503**
60°C 烘 干 土 Oven dried soil under 60°C	0.752**	0.472*	0.272
105°C 烘 干 土 Oven-dried soil under 105°C	0.710**	0.490*	0.180
200°C 烘 干 土 Oven-dried soil under 200°C	0.633**	0.501*	-0.030
400°C 烘 干 土 Oven-dried soil under 400°C	0.446*	0.579*	-0.220

* 矿物钾=全钾-缓效性钾-速效性钾。

表 5 不同温度干燥对主要粘土矿物类型土壤钾素释放、固定的影响

Table 5 The effect of drying under various temperature on release and fixation of K in soils with different clay minerals

类 型 Clay minerals	土号 Soil No.	交换性钾增加(%) Increase of exchangeable K(%)			
		风 干 土 (潮湿土K为基础) Air-dried soil (based on moist soil K)	105°C烘干土 (风干土K为基础) Oven-dried soil by 105°C (based on air-dried soil K)	200°C烘干土(105°C 烘干土K为基础) Oven-dried soil by 200°C (based on oven- dried soil K by 105°C)	400°C烘干土(200°C 烘干土K为基础) Oven-dried soil by 400°C (based on oven- dried soil K by 200°C)
水 云 母 Hydrous mica	129	116.2	76.9	76.4	202.3
	118	81.3	50.7	78.0	177.2
	1	69.6	38.5	75.2	153.8
	121	91.7	46.7	91.1	166.3
	119	23.8	38.5	122.2	200.0
	84	30.5	12.4	70.2	210.4
	107	8.3	15.4	93.3	132.8
蒙脱石、水云母 Montmorillonite, hydrous mica	50	23.0	50.7	45.2	106.1
	53	16.1	34.1	65.5	114.6
	101	61.0	110.6	43.9	45.0
高 岭 石 Kaolinite	83	2.1	-19.9	2.6	82.2
	98	3.8	-3.7	26.9	113.2
	95	9.2	-28.5	-2.2	17.6
	96	3.0	-11.8	50.0	17.7
	133	35.9	-1.9	94.2	11.9

时,水云母类为主的土壤除 107 号(粘粒含量低)外,其它土壤均释放较多的钾。以蒙脱石、水云母为主的土壤也释放较多的钾,但是以高岭石为主的土壤,除 133 号外(粘粒含量高),释放都很小。105°C 干燥时,以蒙脱石、水云母为主的土壤都释放较多的钾。水云母类为主的土壤除了 107 号、84 号外,也释放较多的钾。而以高岭石为主的所有土壤均发生固定。这可能由于高岭石本身无钾释放而土壤又有其它固钾矿物所致。200°C 至 400°C 干燥时则出现不同的情况。由于土壤含钾矿物的复杂性,以及目前还缺少有效的方法进行区分,因此干燥后出现的复杂情况还难以进行解释,但初步可以认为,含水云母类矿物较多的土壤干燥时将有较多的钾释放。

我国南方地区有用晒田、晒垡、熏土等措施进行改土的经验。从发挥土壤钾素潜力的角度看,它的效果依土壤释钾特性而定。

(三) 土壤水分状况对化学钾肥固定的影响

将施用化学钾肥后各处理的测定值(用 1N 中性醋酸铵提取)减去未施用化学钾肥的各对照处理的测定值,作为反映钾肥固定的程度。表 6 结果说明,化学钾肥施入潮湿土壤后,固定百分数可由 20% 左右到 50% 以上,黑土固钾的百分率最高,砖红壤、红壤固定率低,太湖地区的二种水稻土介于两者之间。潮湿土加 K 经风干和 105°C 烘干后,除砖红壤、红壤的固定值变化不大外,其他土壤随干燥度的增加,固定量增加,如黑土加入 1 毫克 K 后,湿土时只固定 48.8%,风干后固定 72.6%,而 105°C 烘干后高达 82.1%。总的说来,干

表 6 土壤水分状况对化学钾肥固定的影响

Table 6 The influence of soil moisture regime on fixation of K fertilizer

土壤 Soil type	土号 Soil No.	地点 Locality	K处理量 (mg) Amount of K	固定百分数 K fixation (%)		
				潮湿土 Moist soil	风干土 Air-dried soil	105°C烘干土 Oven-dried soil by 105°C
砖红壤 Laterite	133	广东徐闻	1	28.3	—	23.6
			3	18.2	—	19.8
红壤 Red earth	85	江西进贤	1	28.3	25.0	28.3
			3	21.5	21.1	30.9
爽水水稻土 Permeable paddy soil	1	江苏吴县	1	34.0	60.0	68.0
			3	26.9	57.7	68.0
囊水水稻土 Waterlogged paddy soil	0	江苏常熟	1	39.8	68.8	76.3
			3	24.3	66.1	76.4
黑土 Black soil	50	吉林	1	48.8	72.6	82.1
			3	56.3	69.7	79.4

燥程度是影响钾素固定的一个因素。在潮湿、风干的情况下当钾的用量增加时,一般固定百分率有所减少。在较高温度下化学钾肥固定的增加,有人认为是由于高温促进了晶层脱水和收缩,晶层闭合,钾被晶格的层间空隙所吸持。砖红壤、红壤主要含 1:1 型高岭石,它不能进行晶层内吸附,且同晶置换产生的负电荷量很小,因此固钾能力最低。黑土主要含蒙脱石、水云母,供试的两种水稻土主要含水云母,这些粘土矿物的固钾能力都较高。在农业实践中,钾素的固定是一个与合理施肥有关的问题,某些土壤施用钾肥后,钾肥效果低,也可能是由于固定而降低了钾肥的有效性,在这样的土壤上必须增加钾肥用量才会收到良好的增产效果。

参 考 文 献

- [1] Omuetiand, J.A.I. and Agboola, A.A., 1979: Effects of sample preparation and handling on exchangeable K soils derived from igneous and metamorphic rocks of Western Nigeria, *Soil Sci. and Plant Analysis*. Vol. 10 (10):1331.
- [2] Lucbs, R.E., Stanford, G. and Scott, A.D., 1956: Relation of available potassium to soil moisture, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 20:45.

PRELIMINARY STUDY ON INFLUENCE OF MOISTURE AND TEMPERATURE ON RELEASE AND FIXATION OF POTASSIUM IN SOILS

Pen Qiantao and Fan Qinzhen

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

Summary

Experiment using 100 field moist soil samples showed that potassium release was found in 96% of the samples after air-dried treatment. For the soils with higher release capacity of K, the correlation between uptake amount of K by wheat and rice and K content in moist soils was more significant than that between the uptake amount of K and K content in air-dried soils. It indicates that moist soil is suitable to be used for analysis of K in soils with higher release capacity of K and lower content of slowly available K.

Only a little K could be released from the moist soil containing abundant K after submergence and incubation. Through alternation of wetting and drying, more K could be released from the soils richer in hydromicas or montmorillonite. However, it was difficult to increase available K in the soils with lower release capacity of K through submergence or alternation of wetting and drying.

The amount of released K increased with the increase of drying temperature. When the temperature was lower than 200°C, the released K was mainly derived from slowly available K, while the temperature was up to 400°C, the released K was mostly derived from mineral K. Most of the released K under the temperature above 60°C, was not derived from adsorbed K. The increase of exchangeable K in moist soil after air drying was closely related to the saturation degree of K in the soil. More K could be released from the soils containing such minerals as hydromica. The fixation range of fertilizer K applied into moist soils was 18%—56%. Generally the fixation of K increased significantly with the increase of drying temperature. The fixation capacity of K was dependent on soil properties.