

# 生物耗竭土壤的层间钾自然释放 及固钾特性

徐国华 鲍士旦 史瑞和

(南京农业大学)

## 摘 要

对经生物耗竭后的 8 种土壤的研究表明:它们经过自然风干后,土壤的层间钾能自然释放而使交换性钾得到部分恢复,但耗竭程度愈烈,恢复能力则随之下降;经淹水或湿润处理后,土壤的交换性钾反有较大程度的再固定;而干湿交替处理后,能促进低施钾水平土壤中新固定态层间钾的释放,高施钾水平土壤中交换性钾的进一步固定。生物耗竭使土壤的固钾能力增强,但白土及黄泥土土壤的固钾率仅 19—46%,新固定态钾易被作物再利用;而黄潮土及鸭屎土的固钾率则上升到 55—74%,新固定态钾较难再利用。耗竭土壤的固钾强度与代表土壤供钾潜力指标的缓效钾值及土壤供钾容量(EUF-K-80℃)与数量(EUF-K-20℃)比例的 EUF-K<sub>Q</sub> 值均有很好的相关。

在农业实践中,土壤中速效钾的自然变化,特别是各土壤的固钾特性是与钾肥合理施用有关的一个重要问题。在这方面至今所做的研究工作基本上都是以未经耗竭的土壤为研究对象<sup>[1,2]</sup>①。由于钾肥资源缺乏加上过去认识上的不足,我国南方稻麦轮作区土壤的钾素亏缺问题愈来愈严重,并正在逐渐北移。为此,我们研究了经生物耗竭后的不同农田土壤的钾素固定和释放特性。

## 一、材料与方 法

供试的 8 种土壤先经黑麦草连续耗竭 5 次与 2 次(共刈割 7 次)。

有关供试土壤的基本性状及耗竭试验方法及恢复土壤层间钾的效应试验方法详见文献[3]。

### (一) 恒湿培养

每种土样称 100g 风干土于小烧杯中,按 4 个施钾(K)水平(0,70,140,280mg/kg 土)加入氯化钾,土壤含水量保持在田间持水量的 60%在室内培养,然后在第 5,15,45,90 天用  $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{NH}_4\text{OAc}$  浸提土壤,测定交换性钾量(烘干土为基础计算),土壤培养过程中交换性钾变化值( $K_v$ )= $K_t - (K_{ex} + K_f)$ 。 $K_v > 0$  时为释钾, $K_v < 0$  时为固钾。 $K_t$  和  $K_{ex}$  分别为 t 天后和培养前土壤的交换性钾, $K_f$  为土壤的施钾量。固钾百分率(%)= $K_v / K_f \times 100$ 。

### (二) 淹水培养

土壤保持田间持水量的 130%的水分含量。处理及测定方法同上。

### (三) 干湿交替处理

在恒湿培养 45 天的基础上选其中的 4 个重复作为期 2 周 1 次的干湿交替处理(在 60℃时

① 张建才,江苏省几种不同土壤钾素的固定和释放,硕士学位论文,南京农业大学,1985。

烘 24 小时后干燥 6 天,然后加水至恒湿后,放置 7 天测定),共 3 次。

#### (四) 电超滤方法

用自制的电渗滤仪按目前通用的方法(变温变压:0—30 分钟,20℃,200V;30—35 分钟,80℃,400V),定义  $EUF-K_Q = EUF-K-80^\circ C / EUF-K-20^\circ C$ <sup>[4]</sup>。

## 二、结果与讨论

### (一) 土壤经生物耗竭后层间钾的自然释放

从表 1 可以看出,装在钵钵中的供试土样经作物“茬口”间的自然干燥,土壤层间钾有一定程度的自然释放而使交换性钾增加,这与过去的报道相一致<sup>[2]①</sup>。种植 5 茬黑麦草后,作物吸收钾(K)58—158mg/钵,土壤交换性钾增加了 8.3—22.8%,而种植 4 茬黑麦草加上一季水稻后,作物共吸收钾(K)94—261mg/钵,在稻、麦“茬口”间的土壤交换性钾仅增加 0—9.6%,表明随着耗竭程度加重,土壤交换性钾恢复程度随之下降,不大可能再回到种前水平,显然只有施肥才能提高土壤供钾水平。

表 1 不同生物耗竭土壤交换性钾的自然变化(间隔 25~28 天,K,mg/钵)

土号	土壤及地点	总吸钾量	交换性钾			总吸钾量	交换性钾		
			5 茬后	6 茬前	增加%		收稻后	种麦前	增加%
1	黄潮土 徐州	85	39.0	43.5	11.5	169	40.7	42.4	4.2
2	鸭屎土 兴化	158	51.7	63.5	22.8	261	54.2	55.7	6.5
3	乌底白土 溧阳	89	30.0	32.5	8.3	126	26.0	27.4	5.8
4	黄白土 高淳	58	34.4	37.4	8.7	94	27.7	30.3	9.4
5	淀浆白土 吴县	71	26.9	29.5	9.7	105	23.0	23.0	0.0
6	黄泥土 吴江	107	33.0	39.0	18.2	151	32.2	35.3	9.6
7	低位白土 武进	88	37.8	41.5	9.8	130	34.5	36.9	7.0
8	黄白土 溧水	86	32.5	36.5	12.3	124	23.2	24.8	6.9

\* 为方便起见,以下土壤名称均以土号表示。

### (二) 不同处理对耗竭土壤的固钾特性的影响

#### 1. 恒湿与淹水处理的影响

土壤中的钾除了受作物栽培、气温变化等影响外,土壤水分的变化也常导致其形态、数量的改变。表 2 表明,生物耗竭土壤加水湿润后,风干状态下的交换性钾不仅得不到来自层间钾的恢复释放,而且均有较大程度的再固定。在最初 15 天内固定最多,之后几乎保持恒定,达到一个新的“最低值”。而在不经过耗竭的原始土壤状态时,只发生轻微的固定<sup>①</sup>。作者推测,由于生物耗竭致使土壤钾严重亏缺,矿物层间暴露了大量的开放性钾位。而土壤湿润,特别是处于淹水状态,导致晶层膨胀,促进了层间钾与粘土矿物表面的交换性钾之间的平衡,土壤风干时所释出的钾又重新回到矿物层间的专性结合位上,导致钾的固定。

表 2 生物耗竭土壤经恒湿与淹水培养后的交换性钾(K,mg/kg)

土号	原始值	培养 15 天		培养 90 天	
		恒湿处理	淹水处理	恒湿处理	淹水处理
1	41.0	31.7	28.8	29.7	28.0
2	52.5	33.2	31.5	32.0	31.0
3	24.1	15.8	14.7	14.2	13.8
4	27.8	26.0	25.0	24.5	23.0
5	19.5	11.8	11.2	12.5	10.9
6	30.0	16.6	16.5	16.7	15.4
7	34.3	15.4	14.0	15.5	13.7
8	23.1	14.2	13.7	14.5	14.0

耗竭土壤所固定的钾量随施钾量的增加而增多(表 4),但固钾的百分率则随之下降(表 3)。这同其他有关土壤钾素固定研究的结果是一致的<sup>[5]</sup>。白土及黄泥土类(3—8 号土)固钾率仅为 19—46%(与通常的这类非耗竭土壤固钾率相近<sup>[1,2]</sup>,固钾数量增加较少),黄潮土与鸭屎土经耗竭后,固钾率达 55—74%。生物试验<sup>[3]</sup>表明,前者(3—8 号土)新固定态钾基本上均能被作物再利用,而后者(1—2 号土)新固定态钾主要以第二部分层间钾(1mol·L<sup>-1</sup>HNO<sub>3</sub> 煮沸 10 分钟所不能提取的钾)形态存在,较难被豆科作物再利用。

表 3 施钾量对耗竭土壤的固钾率(%)的影响(培养 90 天)

土号	70(K,mg/kg 土)		140(K,mg/kg 土)		280(K,mg/kg 土)	
	恒 湿	淹 水	恒 湿	淹 水	恒 湿	淹 水
1	70.1	73.4	63.5	66.0	55.0	59.0
2	69.0	71.5	61.9	65.5	54.8	59.5
3	39.3	42.1	30.7	34.1	22.9	25.5
4	38.6	40.5	28.3	30.5	21.7	24.2
5	35.9	38.4	27.0	29.8	18.8	21.1
6	43.7	46.3	33.8	36.5	26.0	28.8
7	42.8	44.1	31.5	34.8	23.3	26.9
8	41.9	43.0	30.6	34.3	22.3	25.8

从表 2 和表 3 也可以发现:淹水较湿润状态增加了生物耗竭土壤对钾的固定,这可能是因为供试土壤<10 $\mu$ m 粘粒中各种粘土矿物虽然丰度不一,但均以水化云母为主<sup>①</sup>,淹水更有利于粘土矿物膨胀,从而有更多的交换性钾进入矿物层间。因此在生产实践上,这类土壤层间钾一旦严重亏缺,即使淹水种植(水稻田)也得不到释钾的效果,反而能较早地(麦地)固定更多的肥料钾,从而降低肥效。

尽管土壤固钾强度随施钾水平的改变而变化,但表 4 结果显示,3 种施钾水平下的土壤固钾量与缓效钾值及 EUF-K<sub>Q</sub> 值均呈极显著的正相关,这种相关性随施钾水平的增加(70,140,280K,mg/kg 土)而略有下降(r 值分别为 0.936<sup>\*\*</sup>,0.924<sup>\*\*</sup>,0.921<sup>\*\*</sup> 与 0.915<sup>\*\*</sup>,0.890<sup>\*\*</sup>,0.884<sup>\*\*</sup>)。而已往的研究表明,耗竭种植时作物吸收的钾主要来自非交换性钾,其土壤供钾能力(作物吸钾量)与土壤的缓效钾及 EUF-K<sub>Q</sub> 间有很好的相关<sup>[3,4]</sup>。可以认为,土壤供钾能力愈强,相应的经连续耗竭种植所亏缺的钾量也愈多,固定能力也就较高,因此代表土壤供钾潜力指标的缓效钾值和土壤供钾容量(EUF-K-80℃)与数量(EUF-K-20℃)比例的 EUF-K<sub>Q</sub> 在一定程度上均可用来反映耗竭土壤的固钾强度。

## 2. 干湿交替处理的影响

耗竭土壤经恒湿培养 45 天后,土壤中交换性钾与层间钾之间达成新的平衡。继续进行干湿交替作用,对于不施钾处理的土壤,土壤交换性钾可恢复甚至超过培养前(耗竭后)的水平。如表 5 所示,干湿交替促进低施钾(K)水平(70mg/kg 土)土壤中新固定态层间钾的释放;中等

表 4 缓效钾、EUF-K<sub>Q</sub> 与耗竭土壤固钾量\*  
(淹水、恒湿培养 90 天平均,K,mg/kg)

土号	缓效钾 (a)	EUF-K <sub>Q</sub> (b)	施 钾 量		
			70(c)	140(d)	280(e)
1	583	6.9	50.3	90.7	160
2	475	6.4	49.1	89.2	160
3	225	5.0	28.5	45.4	67.8
4	260	4.8	27.7	41.2	64.4
5	163	4.2	25.5	39.8	56.0
6	267	5.5	31.5	49.1	76.7
7	231	5.7	30.5	46.5	70.3
8	355	5.4	29.8	45.5	67.5

\* 表中各项相关系数:

$$r_{a,c}=0.936^{**} \quad r_{a,d}=0.924^{**} \quad r_{a,e}=0.921^{**}$$

$$r_{b,c}=0.915^{**} \quad r_{b,d}=0.890^{**} \quad r_{b,e}=0.884^{**}$$

施钾(K)水平(140mg/kg 土)除 1 号黄潮土与 4 号黄白土表现为固钾外,其他土壤的交换性钾变化很少,表明土壤层间钾与交换性钾之间已处于很好的平衡状态;高施钾(K)水平(280mg/kg 土)的土壤经干湿交替处理,导致了土壤钾的进一步固定。出现这种现象,可能与供试土壤钾素严重亏缺,交换性钾的饱和度(0.71%—1.44%)很低有关。由此看来,干湿交替作用导致土壤对钾的固定还是释放受土壤本身含钾矿物的特性及其交换性钾水平的制约。而农业生产中,一般亩施 10kg 氯化钾(相当于本试验 K 为 70mg/kg 土)的施钾水平,因此,干湿交替作用对提高本供试土壤地区钾肥的有效性有一定意义。

表 5 经 3 次干湿交替后的土壤交换性钾变化量及总固钾率

土号	交换性钾变化量(mg/kg)*				总固钾率(%)		
	0(K,mg/kg)	70(K,mg/kg)	140(K,mg/kg)	280(K,mg/kg)	70(K,mg/kg)	140(K,mg/kg)	280(K,mg/kg)
1	17.3	6.4	-21.0	-68.3	59.6	75.9	79.2
2	48.3	18.7	-4.1	-40.6	40.7	61.6	66.9
3	11.5	17.8	-5.3	-32.0	14.7	34.2	33.1
4	6.9	5.1	-20.9	-57.1	31.1	42.4	43.2
5	6.3	15.3	-1.4	-28.8	14.3	27.5	29.5
6	13.9	16.2	2.6	-35.7	18.4	31.4	38.0
7	18.3	8.6	-8.2	-50.7	30.7	37.9	41.3
8	11.1	18.2	1.3	-36.2	15.4	29.1	33.8

\* 指 3 次干湿交替处理后与前(恒湿培养 45 天时)土壤交换性钾的差值。正值代表释钾,负值代表固钾。

试验也发现,经过 2 次剧烈的干湿交替作用,土壤中钾的固定、释放便趋向平衡。与培养前的土壤交换性钾相比,从表 5 也可见,经恒湿随之干湿交替,随着施钾水平的提高,耗竭土壤不仅固钾数量增加,而且固钾的百分率也提高,从而使土壤的固钾量更难达到饱和。

#### 参 考 文 献

- [1] 彭千涛、范钦桢,水分和温度对土壤钾释放、固定影响的初步研究,土壤学报,21(4):387—394,1984。
- [2] 陈克文等,水稻土供钾特性及其与土壤水的关系,福建农学院学报,18(1):56—61,1989。
- [3] 徐国华、鲍士旦、史瑞和,禾谷类及豆类作物对土壤层间钾的利用,南京农业大学学报。14(2):47—52,1991。
- [4] K. Nemeth,(1980—1983). Plant and Soil. Vol,83(1):1—19,1985。
- [5] Barber R. G. , Journal of Soil Science, 30(4):785—792,1979。