

# 耗竭条件下层间钾的释放及耗竭后土壤的固钾特性

史建文

(江苏省植物研究所, 210014)

鲍士旦 史瑞和

(南京农业大学土壤农化系)

## 摘 要

本文通过盆栽耗竭试验和土壤培养试验研究了五种含钾量差异较大的土壤供钾特点和固钾能力。试验结果表明: (1)黑麦草根系发达而密集,它对土壤钾的利用能力很强,能在短期内吸收大量钾,而致使土壤缺钾,在缺钾严重时土壤交换性钾和缓效钾还能达到“最低值”,“最低值”因受质地和粘土矿物组成及含量的影响而有较大差异。(2)作物吸收钾中,层间钾所占比例很大,其中又以  $1\text{mol/L HNO}_3$  煮沸一次不能提取的钾为主。所以在合理评价土壤供钾能力时必须要考虑层间钾的有效性和存在形态。(3)土壤固钾量是随钾的耗竭而增加,土壤不同水分条件下的固钾量为干湿交替>恒湿>淹水。

**关键词** 层间钾,耗竭,固钾,钾有效性

## 一、引 言

层间钾是指存在于 2:1 型粘土矿物晶层中的钾,它包括缓效钾和部分矿物钾,缓效钾为第一部分层间钾(即层间钾 I),其余部分层间钾称为  $1\text{mol/L HNO}_3$  一次不能提取钾(即层间钾 II),现在人们普遍认为:层间钾的有效性和存在状态对土壤钾的供应和植物吸收有很大影响<sup>[1,2]</sup>。Ganeshamurthy 发现:在连续种植条件下土壤交换性钾降至一定水平后几乎不再变化,而层间钾则有明显降低<sup>[3]</sup>。生长在 Punjab 淋溶土上的玉米和小麦吸收的钾有 800—900g/kg 来自层间钾<sup>[4]</sup>。Martinand Sparks 认为:层间钾的释放符合一级动力学方程<sup>[5]</sup>  $dK_t/dt = k(K_0 - K_t)$ ,其中  $K_0$  为层间钾总量, $K_t$  为时间  $t$  时所释放的钾量, $k$  为层间钾释放的速率常数, $d$  为微分符号。由此可看出,钾的释放速率随已释放的钾量和接触时间的增加而降低。层间钾释放后留下的空位使固钾成为可能,在耗竭程度高时固钾量可能非常大,有时达 1000—2000kg/ha<sup>[6]</sup>,远远大于正常施钾量。钾的固定受土壤粘土矿物组成和土壤水分状况的影响有较大差异。

因层间钾对土壤供钾状况有如此大的影响所以研究其释放特性,可利用的限度,以及耗竭后土壤对钾的固定特性等很有必要。本文着重研究了不同含钾量的土壤在耗竭条件下的释放特性,并用不同耗竭程度的土壤研究其固钾特性。

## 二、材料与方 法

(一) 供试土壤 土壤的基本性状列于表 1。

表 1 供试土壤基本性状  
Table 1 Basic properties of the tested soils

土号 Soil No	土壤 Name of soil	质地(国际制) Texture	成土母质 Parent material	主要粘土 矿物 (<2 $\mu$ ) Main clay minerals	全钾 (g/kg) Total K	交换性钾 (mg/kg) Exch. K	缓效钾 (mg/kg) Nonexc- hange- able K	pH	CEC (cmol/ kg)	粘粒 (g/kg) (<2 $\mu$ ) Clay concentr- ation
1	兴化黑淤土	粘质壤土	湖积物	HM, Mt (Verm)	19.8	167.4	798.9	7.10	15.12	252.0
2	沿江灰潮土	砂壤土	冲积物	HM, Mt(K)	16.0	64.2	396.6	6.70	8.15	67.0
3	宜兴白土	粘壤土	湖积物	Mt(K)	12.4	80.9	268.5	5.99	9.47	172.0
4	溧阳黄棕壤	粘壤土	下蜀黄土	HM(K)	14.0	82.8	456.7	5.58	10.38	212.0
5	江西红壤	壤土	Q <sub>4</sub>	K(HM)	12.5	57.6	219.0	5.20	7.17	69.0

注: 矿物名称为: HM 为水化云母, Mt 为蒙脱石, Verm 为蛭石, K 为高岭石; 带括号者为次要矿物。

(二) 生物耗竭试验 用 5 种土壤进行生物耗竭试验, 土壤经风干、压碎, 过 4mm 筛后混匀, 用 11×13cm 瓷钵装土 1kg/钵, 重复 13 次, 均不施钾而施足氮、磷及微量元素, 共耗竭 6 次, 第 3, 4 次因高温休耕 60 天, 每次收割后测定植株钾、土壤的交换性钾和缓效钾。

(三) 耗竭后土壤的固钾试验 选取耗竭 0, 3, 6 次的土壤进行土壤培养试验, 称 100g 土于 100 ml 烧杯中, 分施钾 (K 200mg/kg 土) 和不施钾两个水平, 每个钾水平又分三个水分处理, 即恒湿 (60% 田间持水量); 淹水 (130% 田间持水量); 干湿交替 (恒湿及 60℃ 烘干 24 小时各 1 周), 重复四次, 在试验 1, 2, 4, 8 周分别测定土壤交换性钾量, 并估计固钾量。

(四) 计算方法 1. 作物吸收交换性钾量 = 耗竭前土壤交换性钾量 - 耗竭后土壤交换性钾量。  
2. 作物吸收层间钾 I 量 = 耗竭前土壤缓效钾量 - 耗竭后土壤缓效钾量。  
3. 作物吸收层间钾 II = 作物吸钾量 - 吸收交换性钾量 - 吸收缓效钾量。  
4. 土壤固钾量 = 固定前土壤交换性钾量 - 固定后土壤交换性钾量 + 施钾量。

## 三、结果与讨论

### (一) 耗竭使土壤层间钾大量释放

随着作物的吸收, 耗竭次数的增加, 土壤中可利用的钾及作物体内含钾量均逐渐降低。由表 1, 2 可看出: 1 号土由于交换性钾和缓效钾均较高, 黑麦草第一茬就吸收了较多的钾, 但随着耗竭次数的增加, 吸钾量明显下降, 到第六茬只吸收 17.3mg/钵, 约占第一茬的 1/7, 其余几种土壤交换性钾、缓效钾含量均较低, 第一茬吸钾量就低, 到第六茬吸钾量已很少。

从植株含钾量(表 2)同样可看出: 1 号土虽然第一茬植株含钾量较高, 有 26.6g/kg, 但到第六茬只有 5.4g/kg, 故已表现出缺钾现象。而其余土壤第一茬就较低, 含量小于 10.0 g/kg, 以后各茬更低, 至最后只有 4.0g/kg 左右, 这说明层间钾的释放不能满足黑麦草快

表 2 每茬黑麦草植株的吸钾量 (K mg/钵) 和含钾量 (g/kg)

Table 2 Amounts of K absorbed by ryegrass (K mg/pot) &amp; K concentrations (g/kg)

土号 Soil No.	第一次种植 K First planting			第二次种植 K Second planting			总吸钾量 K total absorbed	
	1	2	3	4	5	6		
1	吸钾量	122.8	102.0	66.0	48.0	26.0	17.6	382.1
	含钾量	26.6	25.3	15.1	14.6	11.9	5.4	
2	吸钾量	32.4	22.7	17.1	18.7	6.1	4.1	101.1
	含钾量	9.7	8.1	7.0	8.5	5.1	3.9	
3	吸钾量	29.7	26.6	13.1	23.9	5.3	5.6	103.6
	含钾量	7.6	7.1	5.9	6.2	4.8	4.3	
4	吸钾量	32.3	22.0	5.2	31.8	7.2	5.8	104.6
	含钾量	9.2	8.5	6.4	7.7	6.2	4.4	
5	吸钾量	23.9	10.6	2.6	30.4	4.7	4.3	76.5
	含钾量	9.1	6.8	6.3	8.0	7.4	4.7	

速生长的需要。

从土壤含钾量看,在黑麦草耗竭条件下,缺钾的土壤无论交换性钾还是缓效性钾均很快会达到一个最低水平(图 1、2),以后则基本保持不变即达到“最低值”;除 1 号土外的其余四种土,其交换性钾第一茬就很低,第二茬后则变化甚小,可以说已达到“最低值”;缓效钾第三茬时也达“最低值”,此后则主要靠 1mol/L HNO<sub>3</sub> 一次不能提取钾的释放来维持植物生长,这样层间(包括层间钾 I 和 II)的释放速率就成为土壤钾素供应的重要参数。

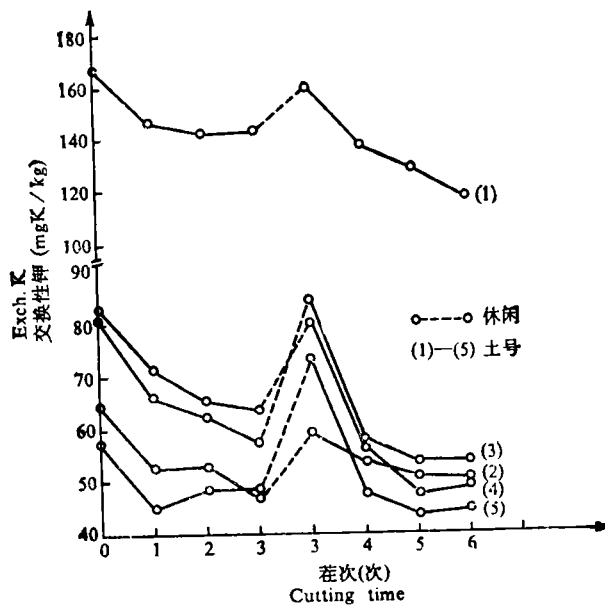


图 1 黑麦草耗竭条件下土壤交换性钾含量变化

Fig. 1 The relationship between soil exchangeable K and cutting time of ryegrass under depletion condition

黑麦草吸收的钾中来自土壤各组分钾的量和比例, 由图 3 可以看出, 作物吸收钾中交换性钾只占相当小的一部分, 大部分来自层间钾, 其中又以 1mol/L HNO<sub>3</sub> 一次不能提取部分为主, 占到 70—100%, 作物吸收钾中土壤各组分钾所占比例大致为, 吸收交换性钾

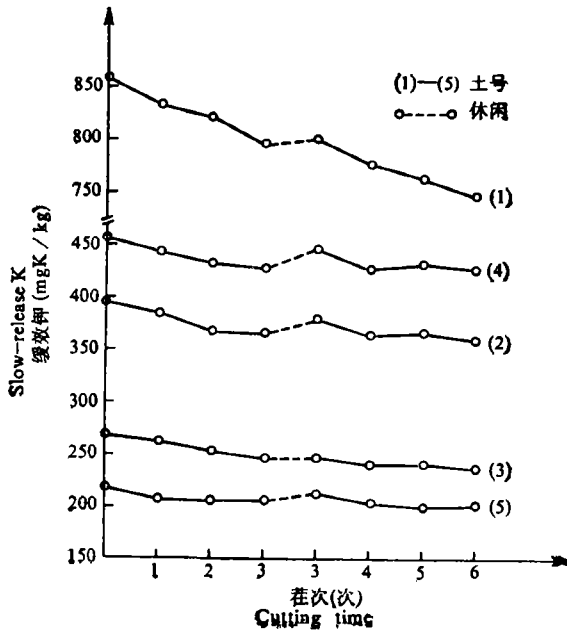


图 2 黑麦草耗竭条件下土壤缓效钾含量变化

Fig. 2 The relationship between soil nonexchangeable K and cutting time of ryegrass under depletion condition

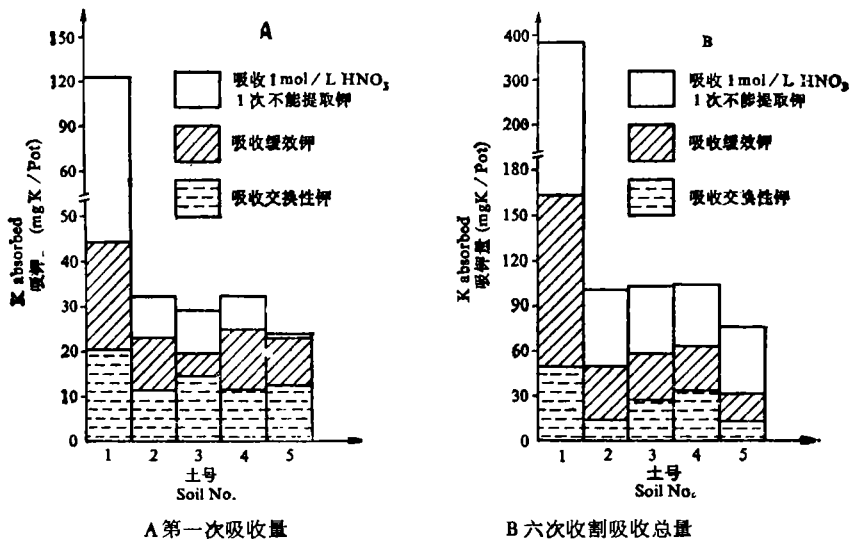


图 3 黑麦草第一次吸收和第六次总吸收土壤各组分钾的量和比例

Fig. 3 Amounts and proportions of different kinds of soil K absorbed by ryegrass before first cutting and sixth cutting



就是说耗竭越厉害,固钾能力越强,这样当土壤缺钾时,施入土壤中的钾肥就大部分被土壤固定,往往不能发挥其应有的肥效,因此,在生产上要注意钾肥的及时施用,以防止土壤层间钾消耗过度。

不同水分处理对土壤钾固定也有很大影响,施入钾肥后,其固钾顺序为干湿交替>恒湿>淹水,而且差异较大,其中干湿交替比恒湿多固钾 127—314g/kg, 平均 204g/kg; 比淹水多固钾 253—424g/kg, 平均 311g/kg, 差异达 1% 显著水平。其原因是当水分多时矿物膨胀,晶间钾与溶液中钾可自由交换不易被固定,因而固钾量较少。例如恒湿状况就是如此;而干湿交替状况使钾在潮湿时能进入层间,在干燥时由于矿物层间收缩进入层间的钾被全部固定,因而固钾量为最大。

本试验中值得一提的是,3号白土在未耗竭时固钾量较小,特别在淹水条件下,其固钾量只占施钾量 12.2%,这与史建文等在参考文献[4]中所报道的结果相一致。但在耗竭三次或六次以后,土壤的固钾量又明显增加,耗竭六次的固钾量均超过未耗竭的一倍以上,其原因还有待于进一步探讨研究。

表 4 恒湿条件下不同培养时间的固钾量 (K mg/100g 土)

Table 4 Amounts of K fixed at different times under constant wet soil condition

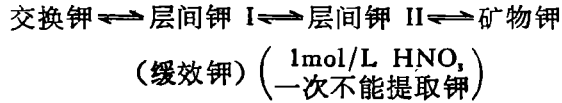
土号 Soil No.	耗竭次数 Times of depletion	1 周 One week	2 周 Two weeks	4 周 Four weeks	8 周 Eight weeks
1	○	10.70	10.78	10.56	10.03
	三	11.63	12.04	12.40	11.63
	六	15.09	15.41	15.19	15.81
2	○	10.92	9.87	9.99	10.05
	三	11.44	12.25	11.89	11.86
	六	11.99	12.61	12.47	12.66
3	○	5.79	5.76	6.44	5.89
	三	8.75	8.32	8.37	9.26
	六	10.11	9.70	10.54	10.73
4	○	4.39	4.36	4.27	4.19
	三	6.54	6.70	6.27	6.13
	六	7.02	7.22	7.02	7.13
5	○	4.28	4.29	3.73	3.76
	三	6.05	5.95	6.01	5.80
	六	7.05	7.13	7.29	7.26

土壤培养结果(表 4)还说明,土壤固钾速度很快,1周就可达到最大固钾量,以后则维持不变。封克等认为<sup>[3]</sup>,白土对施入钾肥的固定速率一开始是很快的,在一天内的固定量多数已超过培养 120 天时固定量的一半以上,这说明土壤固钾过程是包括快反应和慢反应二步,快反应所需时间较短,主要是钾从溶液中进入矿物层间;慢反应是指钾由层间向其它形式转化,它需要较长的时间。

## 四、结 论

1. 在黑麦草连续耗竭条件下,随耗竭次数增多土壤供钾能力降低,缺钾土壤很快出现交换钾和缓效钾“最低值”。

2. 土壤不同形态钾之间存在着如下动态平衡:



在盆栽耗竭条件下当季作物吸收的钾一般交换性钾占 0—20%;层间钾占 80—100% 其中缓效钾占 0—30%, 1mol/L HNO<sub>3</sub> 一次不能提取钾占 70—100%, 在评价土壤供钾状况时, 1mol/L HNO<sub>3</sub> 一次不能提取钾值得重视, 并应找出适当的方法进行测定。

3. 随耗竭程度增加土壤固钾量增加, 因而土壤不能耗竭过度。不同水分处理间的固钾顺序为: 干湿交替 > 恒湿 > 淹水。

## 参 考 文 献

1. 鲍士旦等, 1982: 土壤钾素供应状况的研究。南京农学院学报, 第 5 卷 1 期, 59—66 页。
2. 谢建昌等, 1983: 我国主要土壤供钾潜力的初步研究, 中国土壤学会农业化学专业委员会, 66—77 页, 农业出版社。
3. 封克等, 1990: 苏南白土钾素供应状况的研究。南京农业大学学报, 第 13 卷 2 期, 76—81 页。
4. 史建文等, 1992: 不同稻、麦品种对土壤层间钾的利用。南京农业大学学报, 第 15 卷 1 期, 65—70 页。
5. Ganeshamurthy, A.N., 1985: Contribution of potassium from nonexchangeable sources in soil to crops. Indian Soc. Soil Sci. 33. 60—66.
6. Singh, B. and S.P.S. Brar, 1977: Dynamics of native and applied potassium in maize-wheat rotation. Potash Review. Subj. 9 Cereal Crops 35th Suite No. 6. 18—25.
7. Martin, H.W. and D.L. Sparks, 1983: Kinetics of nonexch. K from two coastal plain soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:883—887.
8. Mengel, K. 1985: Dynamics and availabilities of major nutrients in soils. In: B.A. Stewart (ed.) Advances in Soil Science. Vol. 2. Springer-verlag. New York Inc. 75—93.

## RELEASE OF SOIL INTERLAYER POTASSIUM UNDER DEPLETION CONDITION AND SOIL POTASSIUM FIXATION AFTER DEPLETION

Shi Jianwen

(*Jiangsu Institute of Botany, Nanjing, 210014*)

Bao Shidan and Shi Ruihe

(*Depr. Soil Sci. Agri. Chem. Nanjing Agricultural University, 210014*)

### Summary

The potassium release characteristics and fixation abilities of five soils were studied by using depletion experiments and soil incubation experiments. The results were summarized as follows:

With the extensive root systems ryegrass could draw up much of potassium from the soil potassium pool with in a short time. During the exhaustion cropping the soil deficient in potassium would quickly reach the lowest potassium value. In general, the lowest value of exchangeable potassium occurred at second harvesting and that of nonexchangeable potassium was obtained at third cutting, the lowest value changed with the type of clay minerals.

Potassium absorbed by plants mainly came from the soil interlayer potassium, among this, the potassium which could not be extracted by boiling with 1mol/L HNO<sub>3</sub> was dominant. The more the soil K depleted, the more the applied potassium fixed by soil. Under different water conditions, the amount of fixation of fertilized potassium was in the order of alternative dry and wet > constant wet > submerged.

**Key words** Interlayer Potassium, Depletion, Potassium Fixation, Potassium Availability