

土壤钾素的电超滤特性及其与矿物学性质的关系

朱永官 罗家贤

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文研究了供试土壤的钾素电超滤特性及其与矿物学性质的关系。根据EUF-K曲线可将供试土壤中钾区分成矿物学性质不同的三组。同时实验结果还表明, EUF-K累积解吸总量与交换性钾呈极显著相关($r=0.814^{**}$, $n=12$), 由EUF-K曲线得到的固钾指数与土壤固钾量呈显著正相关($r=0.788^*$, $n=10$), 土壤EUF-K商可以用来判断土壤对 K^+ 选择性的高低。

评价土壤钾素的有效性是一个十分复杂的命题, 因为土壤溶液钾、吸附态钾、非交换性钾及矿物态钾均处于动态平衡之中。土壤水分管理、耕作措施以及作物吸收都会导致平衡的移动^[1]。测定土壤钾素有效性的方法很多, 电超滤法被认为是一种能同时测定土壤钾素供应强度和容量的较为简捷的方法^[2,3]。蒋秋怡等^[4]研究结果表明, EUF-K总量与 NH_4OH-K 的相关性极为显著($r=0.960^{**}$, $n=12$), 而且与牧草(连续7次种植)从土壤中吸收的总钾量呈显著相关($r=0.912^{**}$, $n=7$)。Nemeth^[5]发现, EUF- K_{0-10} 值越高, 土壤溶液中 K^+ 浓度越高, 并且有更多的钾可被作物吸收。对吸钾较快的禾谷类作物而言, 其吸钾量与EUF- K_{0-10} 之间的相关性极好, 而对于吸钾较慢的作物, EUF-K曲线的形状是一个较好的吸钾指标。许多研究表明, 水稻、小麦和大麦等作物的吸钾量与EUF- K_{-1} 和EUF- K_{0-35} 都具有较密切的关系^[6-10]。

尽管电超滤法已被广泛用来测定土壤钾素的有效性, 但其理论依据目前尚未完全清楚, 有关EUF-K与土壤性质相互关系的报道也很少。本文就EUF-K与土壤矿物学性质的相互关系进行了研究, 为电超滤法的实际应用提供一些理论依据。

一、材料与方 法

(一)供试土壤 供试的12个土样系采自我国南方不同地带由不同母质发育的土壤耕层(0—20厘米), 其基本性质列于表1。

(二)实验方法 土壤酸度用电位计法测定(液土比为2:1); 阳离子交换量用醋酸铵法测定; 交换性钾用中性醋酸铵提取, 火焰光度计测定; 电超滤钾测定用德国Vogel公司生产的电超滤仪。按国际通用浸提方法操作: 5g过20目土样置于中室, 50ml蒸馏水作提取剂, 提取时间共35分钟。7组份的自动浸提程序条件的规定如表2所示, 浸提液定容后, 用火焰光度计测定钾含量。

表1

供试土壤基本性质

| 编号 | 土壤 | 成土母质 | 采集地点 | pH(H ₂ O) | pH(KCl) | CEC | 土壤交换性钾 | 主要粘土矿物 |
|----|--------|------|------|----------------------|---------|------------|-------------------------|----------------|
| | | | | | | (cmol/kg±) | (Kmgkg ⁻¹ ±) | |
| 1 | 砖红壤 | | 海南那大 | 4.73 | 4.20 | 4.94 | 46.17 | 高岭石少量三水铝石和水云母 |
| 2 | | 花岗岩 | 广东韶关 | 4.95 | 4.13 | 12.60 | 66.9 | 高岭石,少量水云母和三水铝石 |
| 3 | 赤红壤 | | 广东广州 | 4.94 | 4.04 | 5.88 | 39.9 | 高岭石,少量水云母 |
| 4 | | | 福建光泽 | 5.18 | 4.25 | 11.67 | 47.3 | 高岭石,水云母 |
| 5 | 第三纪红砂岩 | | 江西余江 | 5.67 | 4.43 | 6.26 | 55.1 | 高岭石,蛭石 |
| 6 | 红壤 | 花岗岩 | 江西南昌 | 4.79 | 3.98 | 10.68 | 51.7 | 高岭石,水云母,蛭石 |
| 7 | | | 广东肇庆 | 4.89 | 3.91 | 9.45 | 37.8 | 高岭石,过渡矿物,水云母 |
| 8 | | | 广西桂林 | 5.40 | 4.31 | 14.72 | 25.4 | 高岭石,过渡矿物 |
| 9 | 石灰土 | 石灰岩 | 江西宜春 | 5.04 | 4.07 | 13.04 | 69.7 | 高岭石,水云母 |
| 10 | | | 浙江杭州 | 5.88 | 4.70 | 19.14 | 137.6 | 高岭石,水云母 |
| 11 | | | 江苏南京 | 7.78 | 6.31 | 33.32 | 155.9 | 水云母,过渡矿物,高岭石 |
| 12 | 紫色土 | 紫砂页岩 | 四川成都 | 8.38 | 7.29 | 19.01 | 153.6 | 水云母,过渡矿物,高岭石 |

表2 EUF仪自动浸提程序的组份和条件

| 浸提时间(min) | ○ | — | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
|-----------|---|----|---|----|-----|----|----|-----|----|
| 组份号 | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 温度(°C) | ← | 50 | → | ← | 20 | → | ← | 80 | → |
| 电压(V) | ← | 50 | → | ← | 200 | → | ← | 400 | → |
| 限控电流(mA) | ← | 15 | → | ← | 150 | → | ← | 150 | → |

二、结果与讨论

(一)不同土壤的EUF-K曲线及其与矿物学性质的关系

1. 对K⁺选择性低的土壤的EUF-K解吸曲线

供试的花岗岩发育的几种土壤(1、2、3、4和6号土壤),由于其粘土矿物以高岭为主,2:1型粘土矿物含量较低,所以土壤对K⁺的选择性较低。从图1可以看出,这5种土壤0-30分钟的EUF-K解吸曲线波折度很大,即起始0-10分钟解吸的钾很多,因为这些土壤对K⁺的吸附能力较小,大部分被粘土矿物吸附的K⁺在第2次提取中解吸出来,所以其后的几次(10-30分钟)提取中钾

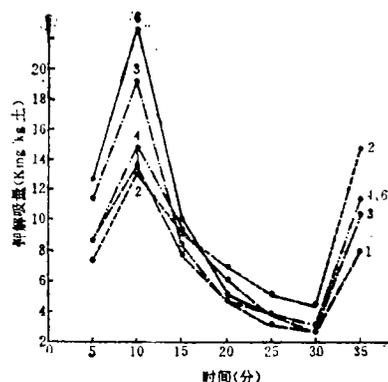


图1对钾选择性低的土壤EUF解吸曲线(花岗岩发育)

解吸量明显下降。当电压升高至400V,温度升高至80°C,EUF-K解吸量虽略有增加但均未超过第2次提取的解吸量,因为这些土壤中很少含有2:1型粘土矿物,因此层间K的含量很低。

2. 对K⁺选择性高的土壤的EUF-K解吸曲线

对于石灰岩发育的9、10、11号土,紫色砂页岩发育的紫色土(12号)及第三纪红砂岩发育的红壤(5号),由于其粘土矿物中含有一定量的水云母、蛭石及其它2:1型矿物,解吸曲线表现为另一种类型(图2和3)。其特点为0-10分钟和10-30分钟内解吸的钾量均较少,所以9-30分钟内EUF-K解吸曲线形状较为平缓(波折度小)。当电压和温度升高至400V和80°C时,解吸的钾量很高,几乎超过第2次提取的钾解吸量,这是因为这类土壤含有较多的层间钾,在EUF-K解吸过程中,处在不同吸附位上的钾可以不断地释放出来,以

维持一定的解吸速率，也就是说，这类土壤钾的数量因子和缓冲容量都比较大。

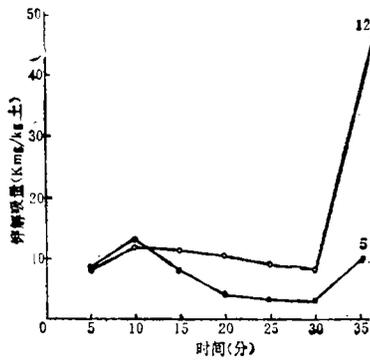


图2 第三纪红砂岩和紫砂页岩发育土壤的EUF-K曲线

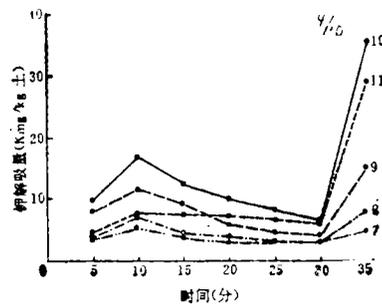


图3 石灰岩发育土壤的EUF-K曲线

3. 对K⁺选择性较高但交换性钾水平较低的土壤EUF-K解吸曲线

从图还3可以看出，对于石灰岩发育的7号和8号土壤，其EUF-K曲线形状在整个解吸过程中均较为平缓，即0—10分钟内解吸的钾不多，10—30分钟解吸的钾量的下降也不明显，当电压和温度分别升高至400V和80°C时，解吸的钾量也不高。说明吸持在土壤不同吸附位上的钾在EUF-K解吸过程中不断释放，解吸速率比较稳定，但由于其交换性钾水平较低(分别为37.8和25.4mgk/kg土)，所以解吸的钾量也不高。

(二) EUF-K总量与土壤交换性钾的关系

表3 土壤EUF-K主要参数

| 土壤 | 编号 | EUF-K ₀₋₃₅ (Kmgkg ⁻¹) | EUF-K ₃₀₋₃₅ (Kmgkg ⁻¹) | $\frac{\text{EUF-K}_{30-35}}{\text{EUF-K}_{0-30}}$ | $\frac{\text{EUF-K}_{5-10}}{\text{EUF-K}_{30-30}}$ | 土壤交换性钾 (Kmg/kg土) |
|-----|----|---|--|--|--|---------------------|
| 红壤 | 1 | 48.6 | 8.0 | 0.1970 | 1.70 | 46.7 |
| | 2 | 60.8 | 14.4 | 0.3103 | 0.90 | 66.9 |
| 赤红壤 | 3 | 61.4 | 10.4 | 0.2039 | 1.85 | 59.9 |
| | 4 | 56.2 | 11.4 | 0.2545 | 1.26 | 47.3 |
| 红壤 | 5 | 50.4 | 0.8 | 0.2414 | 1.35 | 55.1 |
| | 6 | 68.8 | 11.4 | 0.1986 | 2.00 | 51.7 |
| | 7 | 30.2 | 4.8 | 0.1890 | 1.46 | 37.8 |
| 石灰土 | 8 | 29.4 | 7.4 | 0.3364 | 0.70 | 25.4 |
| | 9 | 6.00 | 14.4 | 0.3158 | 0.94 | 69.7 |
| | 10 | 99.2 | 35.2 | 0.5500 | 0.48 | 137.6 |
| 紫色土 | 11 | 67.4 | 29.0 | 0.7552 | 0.26 | 155.9 |
| | 12 | 108.2 | 48.6 | 0.8154 | 0.25 | 153.6 |

从表3可以看出，大部分土壤的EUF-K总量与土壤交换性钾水平相当，说明土壤EUF-K总量可大致反映土壤的交换性钾水平。但是10号、11号和12号土壤的EUF-K总量却明显低于交换性钾量，这可能是由于这三种土壤中含有较多的水云母、蛭石、蒙脱石及一些1.4nm过渡矿物，层间钾的含量较高。土壤交换性钾是指用1mol/L中性NH₄OAC提取的量，铵的离子半径与钾的离子半径相近，因此1mol/L NH₄OAC能较有效地提取土壤胶体层间吸附位上的钾，而电超滤法对吸附在层间位上的K⁺的提取能力可能不及中性的NH₄OH。

所以,在这种情况下EUF-K总量明显低于交换性钾量。但是总的来说,土壤EUF-K量与交换性钾之间仍有较好的相关性($r=0.8140^{**}$, $n=12$), 表明EUF-K能较好地反映土壤交换性钾的水平。

(三) EUF-K 与土壤钾素固定和选择性

土壤EUF-K第2次的提取量与第7次提取量的比值称为土壤的固钾指数(K fixation index), 可以反映土壤的固钾能力^[11]。但是至今很少有文献报道土壤固钾量与固钾指数的关系。对供试土壤固钾量^①与固钾指数作相关分析表明, 两者呈显著负相关($r=-0.788^*$, $n=10$), 对于没有明显固钾能力的土壤, 其固钾指数均小于1。由此可见, 通过分析土壤EUF-K可以大致估计土壤的固钾能力, 为钾肥的合理施用提供一定依据。

土壤EUF-K商是指30—35分钟钾解吸量与0—30分钟钾解吸量的比值, 它可以反应土壤对吸附选择性的高低。从表3可以看出, 10号、11号和12号土壤由于其粘粒中含有较多的2:1型矿物, 其EUF-K商明显高于其它土壤, 范钦楨等^[3]认为, 当EUF-K商低于0.6时, 土壤对K⁺的选择性较弱, 而EUF-K商高于0.6时则说明土壤对K⁺具有较强的选择吸附能力。

三、结 论

根据以上讨论, 对于土壤钾素的电超滤特性及其与矿物学性质的关系可得出如下结论:

1. 根据土壤的EUF-K曲线形状将供试土壤区分为3组: 第1组土壤的粘土矿物以高岭为主, EUF-K曲线波折度较大; 第2组为粘粒中含有一定量的2:1型粘土矿物和1.4nm过渡矿物, EUF-K曲线的前30分钟比较平缓, 30—35分钟解吸钾量较多; 第3组为粘粒中含有一定量的2:1型粘土矿物, 但由于交换性钾水平较低, 因此EUF-K曲线在0—35分钟内都很平缓。

2. EUF-K累积解吸总量与交换性钾呈显著相关($r=0.814^{**}$, $n=12$), 可以大致表征土壤交换性钾的水平。

3. 由EUF-K曲线得到的固钾指数与土壤固钾量呈显著正相关($r=0.700^*$, $n=10$), 固钾指数可以用来估计土壤固钾能力。EUF-K商则用来判断土壤对K⁺选择性的高低, 10号11号和12号土壤由于含有较多的2:1型粘土矿物, 其EUF-K商明显高于其它土壤。

参 考 文 献

- [1] Sparks, D. L. and P.M.Huang, In R.D. Munson (ed) Potassium in Agriculture. ASA., CSS. and SSSA., Madison WI p201—276, 1985.
- [2] Nemth, K. Advance in agronomy. 31: 155—188, 1979.
- [3] 范钦楨、谢建昌, 电超滤法在土壤钾素研究中的初步应用, 土壤, 17(2): 69—74, 1985
- [4] 蒋秋怡、黄昌勇, 用电超滤法研究浙江省一些土壤的供钾状况, 浙江农业大学学报, 14(1): 94—100, 1988
- [5] Nemth, K., Plant and Soil. 64: 7—23, 1982.
- [6] Martin, H.W. and D.L. Sparks, Commun. in Soil Science and Plant Analysis. 16: 133—162, 1985.
- [7] Grimme, H., Plant and Soil. 64: 49—54, 1982.
- [8] Ramanatnan, K.M.K. Plant and Soil. 64: 95—104, 1982.
- [9] Wanasuria, S., et al. Plant and Soil. 59: 23—31, 1981a.
- [10] Wanasuria, S. et al., Soil Science and Plant Nutrition. 27: 139—149. 1981b.
- [11] Dhillon, S. K. and K.S. Dhillon, Geodema, 50: 185—196, 1991.

①朱永官, 我国南方主要类型土壤中钾素化学的研究, 中国科学院南京土壤研究所硕士学位论文, 1992。