

# 电超滤法在土壤钾素研究中的初步应用

范钦楨 谢建昌

(中国科学院南京土壤研究所)

电超滤(EUF)法是近年国外发展起来的测定土壤有效养分的新方法。根据有关报导,看来此法较适合于土壤钾素的研究,它能在一次提取过程中,同时测定土壤钾素养分的浓度和缓冲容量<sup>[1-3]</sup>。

我们就EUF—K值的重现性及其应用作了初步探讨,结果如下。

## 一、EUF—K值的重现性

用广东化州赤红壤,江苏无锡黄泥土和江苏铜山淤土等三种性质差异较大的土壤作为供试土壤,在室温12℃,20℃和30℃左右进行提取。EUF提取方法采用Németh建议的新步骤,即称取5克过1毫米筛的风干土,用50毫升蒸馏水作提取剂,共提取35分钟,提取期间的电压、温度变化如下:

提取时间(分)	电压(伏)	温度(℃)	最大电流(毫安)
0—5	50	20	15
5—30	200	20	15
30—35	400	80	150

每隔5分钟取一次样,用火焰光度计测定滤液的含钾量。

在不同室温条件下,三种土壤的EUF—K值及其重现性见表1。室温20℃左右时,0—30分钟的EUF—K值的变异系数为6.1—12.3%,取0—35分钟的EUF—K总量时,变异系数为4.7—8.3%,即重现性有所提高。

表1 不同土壤EUF—K值的重现性

土壤名称	室温(℃)	EUF—K值(毫克K/100克土)					
		0—30分钟			0—35分钟		
		$\bar{X}$	$S_{\bar{X}}$	CV %	$\bar{X}$	$S_{\bar{X}}$	CV %
赤红壤	30	2.07	±0.06	4.8	2.56	±0.06	3.9
	20	2.22	±0.09	7.3	2.76	±0.09	5.5
	12	2.32	±0.07	5.4	3.17	±0.13	7.2
黄泥土	30	4.74	±0.10	3.6	7.92	±0.12	2.6
	20	4.61*	±0.11	6.1	8.16*	±0.15	4.7
	12	3.99	±0.18	8.0	7.96	±0.15	3.3
淤土	30	9.01	±0.31	6.0	15.05	±0.31	3.6
	20	7.45	±0.53	12.3	15.28	±0.73	8.3
	12	6.69	±0.07	1.8	14.71**	±0.02	0.3

\* 为6次测定平均值, \*\* 为2次测定平均值, 余均为3次测定平均值。

EUF法提取养分的多少与电压,土壤悬液温度及流经阴阳两极的水量有关<sup>[1,4]</sup>。由于测

试过程中两极的水流量始终控制在70毫升/30分钟以上，对结果重现性的影响较小，所以这里不加以讨论。

温度是影响结果重现性的一个重要因子，在恒压条件下温度升高时，养分解吸量可以有相当大的增加，因此用EUF提取的养分作为作物有效养分指标时，温度保持在25℃以下是适当的<sup>[1]</sup>。西德724型全自动电超滤仪用限制电流的方法控制土壤悬液温度，但实际上经过30分钟提取后，土壤悬液温度仍可升高2.5—6℃，平均升高4.2℃(表2)，尤其在室温30℃左右时，

表2 经30分钟提取土壤悬液温度的变化

土名	测定次数	升温范围(℃)	平均升温(℃)
黄泥土	5	3.5—6	5.1
淤土	4	2.5—4	3.5

虽然最大电流限制在15毫安，土壤悬液温度仍可高达36℃。本实验中土壤悬液温度的变幅在11—36℃，目的是要进一步明确在用限制电流控温的情况下，室温变化对提取的养分含量的影响。

从表1的结果可以看到，不同室温下，赤红壤0—30分钟的EUF—K值之间没有显著的差异，但是它们的EUF—K解吸曲线却不同(图1a)。200伏，10分钟时的解吸峰，室温20℃和30℃时的均高于12℃时的。10分钟后室温20℃和30℃的解吸曲线很快下降，20分钟以后钾的解吸就几乎停止，而室温12℃时，10分钟后的解吸曲线下降较缓慢，15—30分钟的解吸曲线反而高于30℃的。从累计解吸量看，室温30℃时，0—10分钟的累计解吸量高于12℃的(分别为1.36和1.17毫克K/100克土)，但10—30分钟的累计解吸量却是室温12℃的高于室温30℃的(分别为1.15和0.71毫克K/100克土)。这是由于红壤的粘土矿物是以1:1型的高岭为主，它对钾没有选择性吸附位，因此在20℃，200伏时，25分钟后解吸即近终止<sup>[1,5]</sup>。而室温较低时(12℃)，由于土壤悬液温度亦低，致使0—10分钟的解吸量较低，但未能解吸出来的钾，可推迟在10—30分钟内解吸出来，所以室温变化对于这类土壤0—30分钟的EUF—K值没有多大影响。

以2:1型粘土矿物为主的淤土则不同，由于它对钾有较强的选择性吸附位，200伏下只有部分交换性钾被解吸<sup>[1,5]</sup>，

因此室温12℃时，不仅0—10分钟的EUF—K解吸曲线明显低于室温30℃的，而且10—30分钟的解吸曲线也低于30℃的。二条解吸曲线的陡度相近，几乎平行(图1b)。这类土壤钾的解吸量随温度升高而增加，室温30℃时，0—30分钟的EUF—K解吸量显著高于室温12℃的(分别为9.01和6.69毫克K/100克土)。因此应在恒温条件下进行EUF提取，如无恒温条件，也应在室温15—20℃时进行，以保证土壤悬液温度在25℃以下。

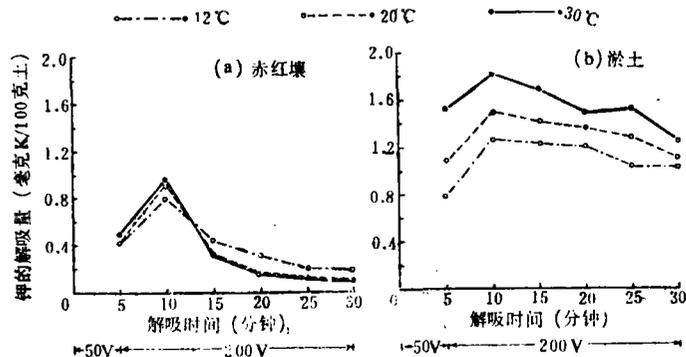


图1 不同室温下EUF—K解吸曲线的比较

## 二、EUF—K值的应用

此项工作是在水稻耗竭试验基础上进行的<sup>[6]</sup>。该试验选择了不同母质上发育的35种土壤

作为供试土壤。测定了这些土壤的pH、交换性钾、缓效性钾、粘粒含量及矿物组成。这些土壤的含钾量及粘粒含量均相差很大，其含量范围：交换性钾为1.0—31.2毫克K/100克土，缓效性钾为1.9—122.4毫克K/100克土，粘粒含量为3.83—63.3%。在这35种土壤上连续种水稻三次，求得了这些土壤对钾肥的反应程度，以及在不施钾肥情况下，水稻的吸钾总量和土壤的钾素供应能力。

(一) 不同土壤的EUF—K值

不同母质上发育的33种土壤的EUF—K值相差很大(表3)。20℃，0—30分钟的EUF—K为0.95—12.59毫克K/100克土。当把20℃，0—30分钟和80℃，30—35分钟的EUF—K值相加时，其值为1.25—25.09毫克K/100克土。

按  $\frac{EUF-K_{80^{\circ}C}}{EUF-K_{20^{\circ}C}}$  比值，供试土壤可分成二组。第一组土壤的  $\frac{EUF-K_{80^{\circ}C}}{EUF-K_{20^{\circ}C}} < 0.6$ ，这组

表3 供试土壤的EUF—K值

样本编号	成土母质	采集地点	EUF—K(毫克K/100克土)			EUF—K <sub>80℃</sub>
			0—10分钟	0—30分钟	30—35分钟	CUF—K <sub>20℃</sub>
3	砂页岩	广东恩平	0.53	0.95	0.30	0.32
6	石灰岩	广西来宾	0.56	1.08	0.62	0.57
16	红砂岩	江西余江	0.85	1.68	0.66	0.39
34	黄土物质	陕西汉中	0.63	1.68	1.23	0.73
7	石灰岩	贵州福泉	0.72	2.13	1.87	0.88
13	石灰岩	江西宜春	0.83	2.19	1.13	0.52
26	冲积物	河南开封	0.88	2.21	2.19	0.99
15	第四纪红色粘土	江西进贤	1.28	2.25	0.65	0.29
22	下蜀系黄土	江苏南京	1.00	2.70	2.30	0.85
20	湖积物	江苏无锡	0.91	2.83	1.93	0.68
24	冲积物	安徽固镇	1.40	3.30	1.80	0.54
12	花岗岩	福建光泽	1.75	3.35	1.00	0.30
18	冲积物	浙江绍兴	1.37	3.41	1.97	0.58
27	花岗岩	山东青岛	0.85	3.55	3.75	1.10
17	第四纪红色粘土	浙江金华	2.23	3.75	1.09	0.29
21	湖积物	江苏无锡	1.08	3.94	3.40	0.86
9	紫色砂页岩	四川重庆	1.65	4.70	3.33	0.71
25	冲积物	河南新乡	1.70	4.75	5.93	1.25
28	黄土物质	山西大谷	1.98	5.16	5.32	1.03
23	湖积物	安徽霍丘	1.85	5.20	4.58	0.88
30	黄土物质	辽宁昌图	1.73	5.33	4.01	0.75
33	黄土物质	陕西武功	2.10	5.67	5.80	1.02
5	冲积物	广东中山	2.09	5.84	3.90	0.67
31	冲积物	吉林延边	2.33	6.02	3.17	0.53
14	冲积物	江西丰城	3.65	6.30	1.35	0.21
32	黄土物质	黑龙江爱辉	2.23	6.76	5.38	0.80
4	花岗岩	广东广州	4.87	7.02	0.94	0.13
19	海积物	上海南汇	2.03	7.05	6.25	0.89
8	湖积物	云南曲靖	2.70	7.63	9.70	1.27
29	冲积洪积物	内蒙呼和浩特	2.97	8.25	9.60	1.16
10	紫色砂页岩	湖南衡阳	2.60	8.90	5.65	0.63
11	冲积物	湖南湘潭	3.58	9.33	4.48	0.48
35	黄土物质	新疆阜康	3.94	12.59	12.50	0.99

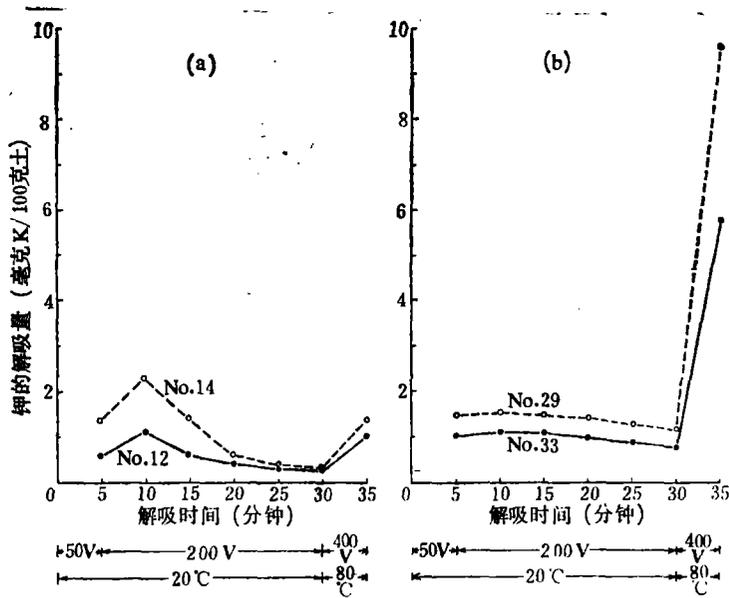


图2 不同土壤EUF-K解吸速率的比较

土壤经20℃, 30分钟提取, 钾的解吸就几乎停止, 即使电压升高到400伏, 温度升高到80℃, 钾的解吸也已很少(11, 24号土除外)(图2 a)。这组土壤经20℃, 30分钟的EUF解吸, 大部分交换性钾能被解吸出来, 20℃, 0—30分钟的EUF-K(y)与交换性钾(x)之间有显著相关:

$$y = 0.65x + 0.22 \quad r = 0.792^{**} \quad (n = 11)$$

回归线的斜率b为0.65, 说明这组土壤对钾的选择吸附力较弱。

第二组土壤的  $\frac{EUF-K_{80^\circ C}}{EUF-K_{20^\circ C}} > 0.6$ , 这组土壤经过20℃, 30分钟的EUF提取只有部分交换性钾能被解吸出来, 解吸的钾仅占交换性钾的28.4—51.7%, 平均为36.6%。当电压升高到400伏, 温度升高到80℃时, 这组土壤还会有较多的钾继续释放出来(图2 b)。20℃, 0—30分钟的EUF-K(y)与交换性钾(x)之间有下列关系:

$$y = 0.34x + 0.43 \quad r = 0.872^{**} \quad (n = 20)$$

回归线的斜率b = 0.34, 表明这组土壤对钾有较强的选择吸附力, 其中  $\frac{EUF-K_{80^\circ C}}{EUF-K_{20^\circ C}} > 1.00$  的土壤, 20℃, 0—30分钟的EUF-K(y)与交换性钾(x)之间的关系为:

$$y = 0.30x + 0.78 \quad r = 0.961^{**} \quad (n = 6)$$

回归线的b值为0.30, 即随着  $\frac{EUF-K_{80^\circ C}}{EUF-K_{20^\circ C}}$  比值的增大, b值变小, 土壤对钾的选择吸附性增强。

## (二) EUF-K值与钾素吸收量的关系

供试土壤20℃, 0—30分钟的EUF-K量与水稻吸钾总量之间有显著的相关( $r = 0.765^{**}$ ,  $n = 33$ )。当取20℃, 0—30分钟和80℃, 30—35分钟的EUF-K总量时, 则相关性还可以提高( $r = 0.885^{**}$ ,  $n = 33$ )。因此, EUF-K作为土壤钾素有效度的指标时, 若同时考虑20℃, 0—30分钟的EUF-K和80℃, 30—35分钟的EUF-K值, 可能更为合适。

图3是部分土壤的EUF-K累计解吸曲线, 图4是与图3中相应土壤的水稻累计吸钾曲线。从图中可以看到, 水稻累计吸钾曲线的陡度和EUF-K的累计解吸曲线极相似, 大致可

分成三种情况。第一种情况可以3, 13, 16号土为例, 其EUF—K的累计解吸曲线几乎没有陡度, 10—30分钟的曲线更是平缓, 20℃, 0—30分钟及80℃, 30—35分钟的EUF—K解吸量均相当低, 0—35分钟的解吸总量还不到5毫克K/100克土(其中80℃, 30—35分钟的EUF—K < 1.5毫克K/100克土), 说明这类土壤不仅钾素供应强度极低, 且缓冲能力也极小, 因此当连续植稻时, 第一茬水稻的吸钾量就很低(< 4毫克K/100克土), 有的甚至在第二茬(如3, 16号土)时即因缺钾而枯死。属于这种情况的还有6, 12, 15, 17, 34号土。

第二种情况可以21, 27, 30号土为例, 其EUF—K累计解吸曲线虽有一定陡度, 但80℃, 30—35分钟的EUF—K解吸量仍较低(< 5毫克K/100克土), 0—35分钟的EUF—K的解吸总量在4—10毫克K/100克土, 这类土壤连续植稻时, 第一茬水稻可有一定的吸钾量, 但第二、三茬吸钾量仍很低。5, 7, 9, 18, 20, 22, 26, 31号土与之类似。

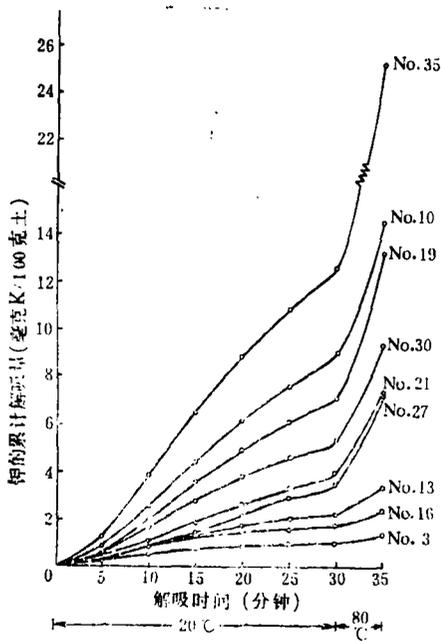


图3 土壤钾的累计解吸曲线

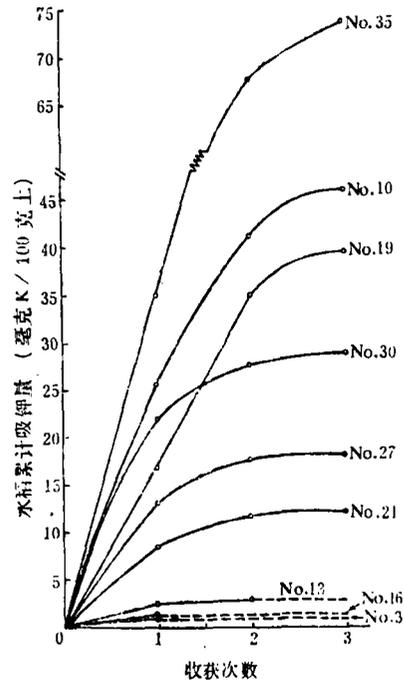


图4 水稻累计吸钾曲线

第三种情况可以10, 19, 35号土为代表, 其EUF—K累计解吸曲线较陡, 0—35分钟的EUF—K解吸总量在10毫克以上, 而且其中80℃, 30—35分钟的EUF—K解吸量也较高(> 5毫克K/100克土), 这类土壤连续植稻时, 不仅第一茬水稻有较高的吸钾量(> 15毫克K/100克土), 而且第二、第三茬水稻的吸钾曲线仍较陡, 后二茬的吸钾量也可在13毫克K/100克土以上。8, 11, 23, 29, 32, 33号土的情况与之类似。

以含伊利石为主的云南曲靖胶泥田(No. 8, 粘粒含量为59.1%)和以含云母为主的湖南湘潭冲积土(No. 11, 粘粒含量为41.3%)相比较, 这二种矿物组成和粘粒含量不同的土壤, 尽管两者的交换性钾含量相同(均为15.7毫克K/100克土), 代换量(分别为14.00和14.19毫克当量/100克土)和钾饱和度(分别为2.88和2.84%)相近, 但是它们的水稻钾素吸收总量却不同, 前者显著地高于后者(分别为33.7和23.4毫克K/100克土)。从图5可进一步看到, 云南曲靖胶泥田20℃, 0—30分钟的EUF—K解吸曲线虽然略低于湖南湘潭冲积土, 且较平缓, 但

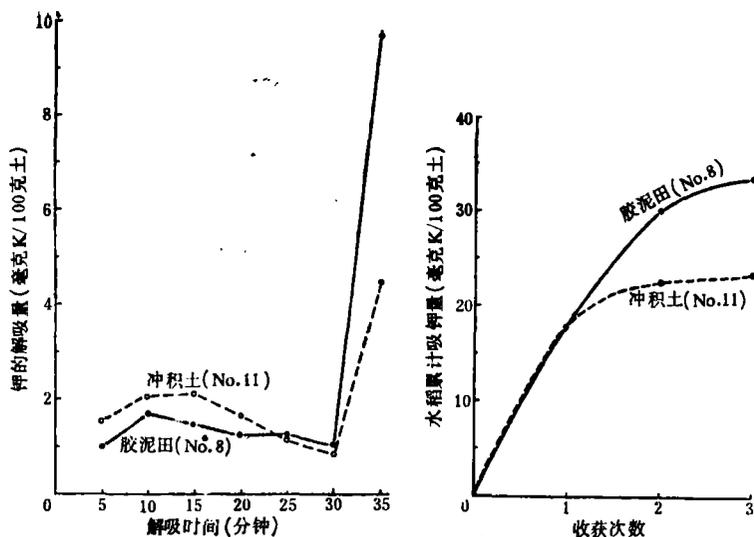


图5 二种不同土壤的EUF—K解吸量和水稻吸钾量之间的差异

80℃, 30—35分钟的EUF—K值却高得多, 几乎是后者的一倍。反映在水稻钾素吸收上, 二者第一茬水稻的钾素吸收量基本相同(分别为17.3和17.7毫克K/100克土)。但到第二、第三茬时, 冲积土的水稻累计吸钾曲线的陡度远比前者小, 二者第二、三茬的吸钾量相差甚远, 表明EUF—K不仅能很好地表示土壤供钾强度, 而且能反应出土壤钾素的缓冲容量, 因而有比交换性钾更能反映土壤供钾能力的趋势。

### 三、结 论

为了提高EUF—K值的重现性, 便于结果比较, 西德724型全自动电超滤仪应在15—20℃的室温下进行EUF—K提取, 以免结果偏高或偏低。

$\frac{EUF-K_{80^\circ C}}{EUF-K_{20^\circ C}}$  比值可反应土壤对钾素结持的强度, 随着该比值的增大, 交换性钾与20℃, 0—30分钟的EUF—K值之间回归方程的斜率b值变小, 土壤对钾的选择吸附性增强。

0—35分钟EUF—K总量与水稻吸钾总量之间有密切相关( $r=0.885^{**}$ ,  $n=33$ ), 表明0—35分钟EUF—K总量能较好地表示土壤钾素的有效度, 尤其在粘土矿物组成和粘粒含量不同的土壤上, EUF—K值有较交换性钾更能反映土壤供钾能力的趋势。EUF—K值在指导大田合理施用钾肥中的实践意义, 还有待研究与检验。

### 参 考 文 献

- [1] Németh, K., *Advances in Agronomy*, 31, 155-168, 1979.
- [2] Németh, K., *Plant and soil*, 64(1), 7-24, 1982.
- [3] S. Wanasuria, K. Mengel, and S. K. De Datta, *Soil Sci Plant Nutr.*, 27(2), 137-149, 1981.
- [4] Németh, K. and H. Recke, *Plant and soil*, 64(1), 25-34, 1982.
- [5] 陈际型, 用电超滤法(EUF)测定土壤钾和其它养分的释放速率. *土壤进展*, 4, 49-55, 1980.
- [6] 谢建昌、罗家贤、马茂桐、蒋梅茵、杜承林、陈际型, 我国主要土壤供钾潜力的初步研究. *土壤养分、植物营养与合理施肥*, 66-77, 农业出版社, 1983.