

我国北方主要土壤非交换性钾释放 速率的研究*

程明芳 金继运 黄绍文

(中国农业科学院土壤肥料研究所, 农业部植物营养学重点开放实验室, 北京 100081)

摘要 采用连续流动交换技术研究了我国北方 25 个供试土壤非交换性钾的释放速率。结果表明, 土壤非交换性钾释放缓慢, 而持续时间长; 最大释放速率变幅为 0.195~2.30mg/(kg·min), 600 分钟平均释放速率变幅为 0.066~1.121mg/(kg·min), 释放持续时间一般在 600 分钟以上。在 600 分钟释放时间内非交换性钾释放百分率变幅在 5.4%~39.6% 之间。土壤非交换性钾释放速率与盆栽耗钾试验中玉米吸钾量之间有极显著的相关性, 可以用它作为土壤供钾能力的评价指标。

关键词 土壤非交换性钾, 释放速率, 连续流动交换仪

中图分类号 S153

随着作物产量的提高, 我国北方土壤施钾增产的报道日渐增多^[1]。但与南方大多数土壤相比, 北方土壤的含钾量一般较高, 钾素供应较充足。前人研究业已表明, 土壤非交换性钾是作物钾素吸收的主要来源^[2~4], 土壤供钾能力是由土壤速效钾含量、非交换性钾含量及其释放速率共同决定的。Martin 和 Sparks 用树脂法研究了取自美国 Delaware 州两个滨海土壤的非交换性钾释放动力学^[5], 金继运等人用连续流动交换仪及 0.5mol/L 的 NH_4Cl 溶液研究了不同土壤固有钾的释放动力学^[6]。研究人员对土壤速效钾含量、非交换性钾含量及其与土壤供钾能力之间的关系已作了大量的研究, 但在土壤非交换性钾释放速率方面的工作做的很少。本试验采用连续流动交换法在这一方面作了初步尝试, 取得了一些有价值的结果。

1 材料与方 法

用自行研制的连续流动交换仪进行本研究。25 个耕层(0~20cm)土壤样品取自我国北方 13 个省(直辖市、自治区)的 12 个土类, 其基本理化性状及粘土矿物组成见表 1。其中 CEC 用草酸铵 + 氯化铵交换法测定, 粘土矿物组成用 X 射线衍射分析, 土壤质地用吸管法, 全钾用 $\text{HCl} - \text{HClO}_4$ 消煮提取, 原子吸收分光光度计测定, 其他性质均用国内常用的方法测定。由表 1 可知, 供试土壤的速效钾和缓效钾含量

* 国家自然科学基金和加拿大钾磷研究所资助项目, 国家自然科学基金(批准号为 49371036)

收稿日期: 1997-06-13; 收到修改稿日期: 1998-08-30

表1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of the tested soils

土壤来源和类型 Soil location and type	有机质		全钾 Total K (g/kg)	CEC (cmol/kg)	pH	速效钾		缓效钾		粘粒含量 <0.002 mm	粉(砂)粒含量 0.02~0.002 mm	砂粒含量 2~0.02mm (%)	土壤质地 Texture	主要粘土矿物 ¹⁾ Predominant clay minerals
	O.M. (g/kg)	Clay content (%)				Rapidly avail. K (mg/kg)	Slowly avail. K (mg/kg)	Silt content mm	Sand content (%)					
新疆昌吉灰漠土	18.1	8.8	21.5	15.45	8.8	223.5	809.0	20.4	20.0	59.5	砂质粘壤土	M, K, V, Q		
新疆泽普田灌淤土	11.3	9.1	19.3	7.88	9.1	172.0	1805.5	13.3	27.8	58.9	砂质壤土	M, V, Ch, Q		
青海乐都栗钙土	11.6	9.1	20.0	8.72	9.1	152.5	1700.0	13.7	30.9	55.4	砂质壤土	M, Ch, Q, K, V		
青海农科院栗钙土	18.9	8.7	20.0	13.77	8.7	184.0	1486.0	21.0	31.8	47.2	粘壤土	M, Ch, Q, V		
甘肃兰州灌淤土	19.2	8.7	19.5	14.30	8.7	187.5	1162.5	22.2	30.8	47.0	粘壤土	M, Mt, Ch, Q, V		
宁夏银川灌淤土	12.1	8.9	20.0	10.82	8.9	124.5	920.5	19.3	31.2	49.5	粘壤土	M, K, Q, Ch, V		
陕西杨陵塋土	11.7	8.8	20.8	16.18	8.8	172.0	1238.0	26.7	41.0	32.3	壤质粘土	M, Ch, Q		
山西临汾褐土	13.5	8.9	18.0	14.82	8.9	145.0	1050.0	16.3	34.1	49.6	粘壤土	M, Mt, Ch, Q		
河北栾城褐土	12.9	9.0	18.0	13.77	9.0	97.0	910.5	18.7	24.6	56.7	砂质粘壤土	M, K, Q, Ch		
河北辛集潮土	16.6	8.8	18.0	15.24	8.8	102.5	895.0	18.9	24.8	56.3	砂质粘壤土	V, M, Ch, Q, K		
天津水高庄潮土	29.8	8.6	19.0	15.24	8.6	232.0	948.0	34.4	37.7	27.9	壤质粘土	Mt, M, Ch, Q		
天津张窝潮土	21.1	8.9	19.8	5.57	8.9	168.5	1016.5	25.9	28.3	45.8	粘壤土	M, Ch, V, K, Q		
河南漯河潮土	17.9	8.2	20.0	15.66	8.2	122.5	1070.0	16.9	37.8	45.3	粘壤土	M, V, Mt, K, Q		
河南洛阳褐土	14.4	8.7	19.5	15.55	8.7	135.5	1034.5	16.2	33.1	50.7	粘壤土	M, Mt, Ch, Q		
河南驻马店砂姜黑土	13.4	7.1	16.0	22.60	7.1	121.0	576.5	29.6	32.0	38.5	壤质粘土	Mt, K, M, Q		
山东淄博褐土	12.9	8.5	20.0	15.87	8.5	196.0	1191.5	15.9	30.1	54.0	粘壤土	V, M, K, Q		
山东临沂棕壤	17.3	8.4	21.8	19.23	8.4	107.5	885.0	20.3	33.2	46.5	粘壤土	Mt, M, K, Q		
辽宁农科院草甸土	16.7	6.2	20.5	14.61	6.2	87.5	767.5	15.3	26.4	58.3	砂质粘壤土	M, Q, K, V		
辽宁法库棕壤	15.1	6.2	22.5	14.50	6.2	115.0	600.0	18.5	12.1	69.4	砂质粘壤土	M, K, Q, V		
辽宁苏家屯水稻土	29.9	5.3	19.3	23.44	5.3	141.0	669.0	32.2	46.9	20.9	粉(砂)质粘土	M, K, Q, V		
吉林刘房子黑土	22.2	6.7	20.0	21.60	6.7	138.5	779.0	24.9	21.6	53.5	粘壤土	V, M, K, Q		
吉林陶家屯黑土	26.5	6.6	19.8	28.27	6.6	154.5	655.5	36.3	25.4	38.3	壤质粘土	M, Q, K, Mt		
黑龙江兴隆草甸土	35.1	6.5	20.0	28.48	6.5	298.5	999.0	43.6	29.2	27.2	壤质粘土	M, K, V, Q		
黑龙江赵州黑钙土	37.4	8.5	19.8	24.28	8.5	210.0	757.5	23.7	19.3	57.0	砂质粘壤土	Mt, M, V, K, Q		
黑龙江双城黑土	30.0	8.5	19.0	26.38	8.5	168.0	642.0	28.8	26.7	44.5	砂质壤土	Mt, M, Ch, Q		

1) M-水云母, K-高岭石, V-蛭石, Mt-蒙脱石, Ch-绿泥石, Q-石英

变幅较大,而全钾含量变幅较小。

称取过 1mm 筛的风干土样 2.000 克,小心置于已备有微孔薄膜(孔径为 0.45μm、直径为 50mm)的滤膜滤器中,固定好后摇匀,使土壤成一均匀薄层。将滤膜滤器上端进液口与连续流动交换仪的下端出液口接通,开动仪器,在 25℃ 的温度下用 0.5mol/L 的中性 NH₄OAc 溶液匀速(1ml/min)连续地流动通过土样 90 分钟,把土壤中原有的速效钾基本淋洗掉。然后用去离子水连续流动通过土样 20 分钟,洗掉土壤中过多的 NH₄⁺ 和 OAc⁻。空转仪器驱尽去离子水后,用 0.10mol/L 的 HCl 溶液连续流动提取土壤中的非交换性钾。在滤膜滤器的下端出液口用 80ml 塑料瓶连续接收,接收时间点分别为 0、2.5、5、10、20、30、45、60、90、120、150、180、210、240、270、300、330、360、390、420、450、480、510、540、570、600 分钟。预备试验表明,用 0.10mol/L 的 HCl 连续提取 600 分钟,大多数土壤的非交换性钾释放速率已达很低,不同土壤的非交换性钾总释放量也已显示出明显差异。

滤液含钾量用原子吸收分光光度计测定,滤液重量根据每个塑料瓶接收滤液前后的重量差求得。计算土壤非交换性钾的累计释放量、最大释放速率、平均释放速率等参数,研究土壤非交换性钾的释放特点及其释放速率与土壤供钾能力之间的关系。同时进行盆栽耗钾试验(施足除钾以外的其他营养元素,每盆装土 500g),用 25 个供试土壤连续种植玉米幼苗 8~10 茬,每茬 1 个月左右,直至玉米的净吸钾量近于零时停止试验。每茬收获后,测定每盆植株干重和植株含钾量,计算每茬植株吸钾量及各茬植株总吸钾量。

2 试验结果

2.1 土壤非交换性钾的释放参数

在我国北方的土壤中,非交换性钾含量一般较高,它是作物吸收钾素的主要来源,尤其是在不施钾肥的情况下。但非交换性钾必须转化成速效钾后才能被作物吸收利用。因此,非交换性钾的释放速率对于土壤的供钾能力具有十分重要的影响。迄今为止,国内外在这方面开展的研究很少。

本研究应用连续流动交换仪及配套设备,用 0.10mol/L 的 HCl 溶液连续提取了取自我国北方不同地区的 25 个耕层土壤中的非交换性钾,获得了土壤非交换性钾释放的动力学参数。结果表明,土壤非交换性钾的初始释放速率较高;随着释放过程的进行,其释放速率逐渐下降(见图

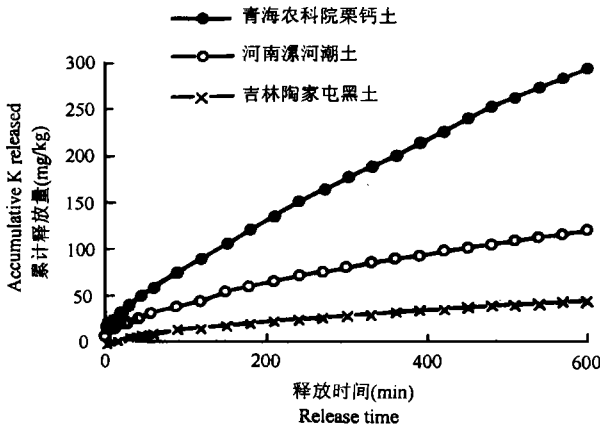


图1 土壤非交换性钾释放曲线

Fig.1 Non-exchangeable K release curves of 3 selected soils

1)。除取自辽宁法库的棕壤只释放了 450 分钟外,其余 24 个供试土壤均持续了 600 分钟以上。在 600 分钟释放时间内非交换性钾总释放量变幅在 38.9~672.4mg/kg 之间,最高与最低相差 17 倍,以青海乐都栗钙土最高,辽宁法库棕壤最低(表 2)。平均释放速率的变

表2 供试土壤非交换性钾释放参数

Table 2 Release parameters of non-exchangeable K (NE-K) in selected soils

土壤来源及类型	600分钟总释放量	平均释放速率	最大释放速率	非交换性钾释放率
Soil source and type	NE-K released	Mean release rate	Maximum	Release percentage
	in 600min	(mg/kg · min)	release rate	in 600min
	(mg/kg)		(mg/kg · min)	(%)
新疆昌吉灰漠土	307.4	0.512	1.80	38.0
新疆泽普田灌淤土	292.4	0.487	0.65	16.2
青海乐都栗钙土	672.4	1.121	1.45	39.6
青海农科院栗钙土	292.4	0.487	2.30	19.7
甘肃兰州灌淤土	359.7	0.600	1.25	30.9
宁夏银川灌淤土	104.9	0.175	0.65	11.4
陕西杨凌塬土	171.8	0.286	0.75	13.9
西北土壤平均	314.4	0.524	1.26	24.2
山西临汾褐土	71.5	0.119	0.55	6.8
河北栾城褐土	115.2	0.192	0.65	12.6
河北辛集潮土	76.1	0.127	0.45	8.5
天津水高庄潮土	112.9	0.188	2.25	11.9
天津张窝潮土	85.0	0.142	0.60	8.4
河南漯河潮土	121.2	0.202	0.80	11.3
河南洛阳褐土	60.6	0.101	0.55	5.9
河南驻马店砂姜黑土	61.5	0.103	0.32	10.7
山东淄博褐土	102.3	0.171	0.75	8.6
山东临沂棕壤	64.6	0.108	0.44	7.3
华北土壤平均	87.1	0.145	0.74	9.2
辽宁农科院草甸土	54.2	0.090	0.75	7.1
辽宁法库棕壤	38.9	0.086	0.29	6.5
辽宁苏家屯水稻土	39.3	0.066	0.55	5.9
吉林刘房子黑土	42.4	0.071	0.44	5.4
吉林陶家屯黑土	47.9	0.080	0.31	7.3
黑龙江红兴隆草甸土	83.8	0.140	0.37	8.4
黑龙江赵州黑钙土	114.5	0.191	1.15	15.1
黑龙江双城黑土	57.6	0.096	0.20	9.0
东北土壤平均	59.8	0.102	0.51	8.1

化趋势与总释放量基本相同,其变幅在 0.066~1.121mg/(kg · min)之间,最高与最低也相差 17 倍,以青海乐都栗钙土最高,辽宁苏家屯水稻土最低。最大释放速率一般出现在释放的 0~10 分钟,其变幅在 0.20~2.30mg/(kg · min)之间,最高与最低相差 11.5 倍,以青海农科院栗钙土最高,而以黑龙江双城黑土最低。非交换性钾释放率:(600 分钟非交换性钾总释放量/土壤非交换性钾含量) × 100%,变幅在 5.4%~39.6% 之间,最高与最低相差 7.3 倍,以青海乐都栗钙土最高,而以吉林刘房子黑土最低。由此可见,在取自我国北方的土壤中,非交换性钾的释放参数和释放状况相差很大。

土壤非交换性钾的释放参数呈现十分明显的地带性差异,取自西北的土壤 600 分钟非交换性钾总释放量、平均释放速率、最大释放速率和非交换性钾释放率平均分别为 314.4mg/kg、0.524mg/(kg·min)、1.26mg/(kg·min)和 24.2%,明显高于取自华北和东北的土壤的相应参数的平均值,其中又以取自东北的土壤的这些参数的平均值最低(表 2);取自华北的土壤相应参数的平均值分别为 87.1mg/kg、0.145mg/(kg·min)、0.74mg/(kg·min)和 9.2%;取自东北的土壤相应参数的平均值分别为 59.8mg/kg、0.102mg/(kg·min)、0.51mg/(kg·min)和 8.1%。下面以平均释放速率为例进一步说明取自不同地区的土壤之间的差别。取自西北的 7 个土壤平均释放速率变幅在 0.175~1.121mg/(kg·min)之间,其中有 6 个土壤在 0.25mg/(kg·min)以上;取自华北的 10 个土壤变幅在 0.101~0.202mg/(kg·min)之间,其中有 4 个土壤在 0.15mg/(kg·min)以上;取自东北的 8 个土壤变幅在 0.066~0.191mg/(kg·min)之间,只有 1 个土壤在 0.15mg/(kg·min)以上,取自华北和东北的土壤没有一个在 0.25mg/(kg·min)以上。这说明土壤非交换性钾释放速率自西向东呈十分明显的下降趋势。当然,取自西北的土壤非交换性钾释放速率也有相对较低的,如宁夏银川灌淤土平均释放速率只有 0.175mg/(kg·min);取自华北和东北的土壤非交换性钾释放速率总体上是低的,但也有相对较高的土壤,如河南漯河潮土和黑龙江赵州黑钙土,两者分别为 0.202 和 0.191mg/(kg·min)。这可能与土壤的风化淋溶程度、粘土矿物组成及含量、种植制度和耕作措施等因素有关。

2.2 用土壤非交换性钾释放参数评价土壤供钾能力的可靠性

相关分析表明,土壤非交换性钾 600 分钟总释放量、平均释放速率、最大释放速率与土壤非交换性钾含量、盆栽耗钾试验中玉米吸钾量之间均有极显著的相关性(表 3)。总释放量与非交换性钾含量、首茬玉米吸钾量、玉米总吸钾量之间的相关系数分别为 0.7813、0.7792 和 0.7857;平均释放速率与非交换性钾含量、首茬玉米吸钾量、玉米总吸钾量之间的相关系数分别为 0.7758、0.7813 和 0.7761;最大释放速率与这三个参比指标之间的相关系数分别为 0.5495、0.5792 和 0.5607。上述所有相关系数均达到了 0.01 的显著水平,其中 600 分钟非交换性钾总释放量、平均释放速率与这三个参比指标之间的相关系数很接近,且均明显高于最大释放速率与相应参比指标之间的相关系数。这表明评价土壤供钾能力

表3 土壤非交换性钾释放参数与土壤含钾量及盆栽玉米吸钾量之间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between NE-K release parameter and soil K content or K uptake by corn in the K depletion experiment

参比指标 Reference index	600分钟总释放量 Total release in 600min	平均释放速率 Mean release rate	最大释放速率 Maximum release rate
土壤速效钾	0.3473	0.3788	0.4381*
土壤非交换性钾	0.7813**	0.7758**	0.5495**
1mol/L HNO ₃ 不能提取钾 [‡]	-0.1241	-0.0872	0.0300
土壤全钾	0.1158	0.1334	0.1658
首茬玉米吸钾量	0.7792**	0.7813**	0.5792**
玉米总吸钾量	0.7857**	0.7761**	0.5607**

注: *和**分别表示达0.05和0.01显著水平; ‡煮沸10分钟提取。

时用非交换性钾平均释放速率优于用最大释放速率。这与非交换性钾缓慢而持久的释放特点相一致。

3 讨论

土壤非交换性钾释放速率与其含量之间呈极显著的正相关(表 3)。因而非交换性钾含量高的土壤,其释放速率一般也高。但由于两者的相关系数(R)又不是很高,例如非交换性钾含量与其平均释放速率之间的相关系数只有 0.7758,即决定系数(R^2)只有 0.6019,两者并不完全一致。例如,黑龙江红兴隆草甸土非交换性钾含量高达 999.0mg/kg,平均释放速率却只有 0.140mg/(kg·min);而新疆昌吉灰漠土非交换性钾含量虽只有 809.0mg/kg,但其平均释放速率高达 0.512mg/(kg·min),是黑龙江红兴隆草甸土的 3.7 倍。原因可能与这两个土壤的粘土矿物组成不同有关,还有待于进一步研究。在盆栽耗钾试验中,新疆昌吉灰漠土的首茬、第六茬玉米吸钾量和总吸钾量分别为 187.1、28.8 和 494.1mg/盆;而黑龙江红兴隆草甸土上述三个吸钾参数分别为 117.2、8.3 和 277.6mg/盆,分别只有新疆昌吉灰漠土的 63%、29% 和 56%,明显低于新疆昌吉灰漠土。说明在评价我国北方土壤的供钾能力时,非交换性钾释放速率是一个不容忽视的重要指标,而且随着种植茬数的增加,其作用日趋重要。当然,要全面准确地评价一个土壤的供钾能力,也不能忽视土壤速效钾和非交换性钾含量所起的作用。例如,尽管黑龙江赵州黑钙土的非交换性钾平均释放速率高于黑龙江红兴隆草甸土[分别为 0.191 和 0.140mg/(kg·min)],但由于土壤速效钾含量和非交换性钾含量均以黑龙江红兴隆草甸土明显高于黑龙江赵州黑钙土(表 1),结果盆栽耗钾试验中玉米首茬吸钾量和总吸钾量均以红兴隆草甸土大于赵州黑钙土(红兴隆草甸土分别为 117.2 和 277.6mg/盆;赵州黑钙土分别为 82.5 和 230.6mg/盆)。在十茬耗钾试验中,前三茬各茬玉米吸钾量均以红兴隆草甸土大于赵州黑钙土;而从第四茬起玉米吸钾量则相反,表明此时非交换性钾的补充释放起着重要作用。这充分说明在评价土壤供钾能力时,土壤含钾量和非交换性钾释放速率均应考虑。而在评价土壤的长期供钾能力时,非交换性钾释放速率可能起着更加重要的作用。在我们的盆栽耗钾试验中,土壤非交换性钾平均释放速率与首茬玉米吸钾量之间的相关系数也达到极显著水平,可能有两个原因。第一,本试验每盆只装土 500 克,种植 5 株玉米,首茬玉米生长量大(25 个供试土壤平均 7g/盆),因而对土壤钾素的吸收强度很大,在这种情况下土壤非交换性钾释放速率可能对植物吸钾起着非常重要的作用;其次,25 个供试土壤的非交换性钾释放速率与土壤速效钾及非交换性钾含量均呈正相关,其中与非交换性钾含量的相关性达到了极显著水平,表明非交换性钾释放速率高的土壤,一般土壤有效钾含量也高,因而当季供钾能力一般也较高。在黑龙江双城县一个速效钾和非交换性钾含量分别为 149.2 和 973mg/kg 的黑土上,施用钾肥使玉米产量提高了 11.3%;在该省红兴隆农场一个速效钾和非交换性钾含量分别高达 219 和 1124mg/kg 的草甸土上,在大豆上施用钾肥,仍获得增产 8.3% 的显著效果^[1]。这两个土壤的速效钾和非交换性钾含量均很高,但施钾仍有明显的增产效果,除了与玉米和大豆对钾肥较敏感外,很可能还与这两个土壤的非交换性钾释放速率不高有关。

参 考 文 献

1. 中国农业科学院土壤肥料研究所和加拿大钾磷研究所编. 北方土壤钾素和钾肥效益. 北京: 中国农业科技出版社, 1994
2. 鲍士旦, 史瑞和. 土壤钾素供应状况的研究 I, 江苏省几种土壤的供钾状况与禾谷类作物(大麦)对钾吸收能力之间的关系. 南京农学院学报, 1982, (1): 59~66
3. 鲍士旦, 史瑞和. 土壤钾素供应状况的研究 II, 土壤供钾状况和水稻吸钾间的关系. 南京农学院学报, 1984, (4): 70~78
4. 高广领, 金继运, 王莲池. 我国主要土壤钾的形态分级及其有效性的研究. 见: 北京土壤学会主编. 土壤资源利用与科学施肥——北京土壤学会第六次代表大会暨学术年会论文集(上). 北京科学技术出版社, 1990. 120~124
5. Martin H W, Sparks D L, Kinetics of non-exchangeable potassium release from two coastal plain soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1983, 47:883~887
6. 金继运, 高广领, 王泽良. 不同土壤钾素释放动力学及其供钾能力的研究. 植物营养与肥料学报, 1994 试刊第 1 期: 39~48

RELEASE RATES OF NON-EXCHANGEABLE POTASSIUM IN SELECTED SOILS FROM NORTHERN CHINA

Cheng Ming-fang Jin Ji-yun Huang Shao-wen

*(Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of
Plant Nutrition Research of Ministry of Agriculture, Beijing 100081)*

Summary

Release rates of non-exchangeable potassium (NE-K) in 25 selected soils of 12 primary soil types from northern China were studied using a continuous flow apparatus and 0.10mol/L HCl as extracting solution. Results indicated that NE-K was released slowly for a long time. Maximum release rate of NE-K varied from 0.195 to 2.30mg/(kg·min), average release rate of NE-K in 600 minutes ranged from 0.066 to 1.121mg/(kg·min), and the NE-K release lasted for more than 600 minutes in most soils. The NE-K released in 600 minutes accounted for 5.4% to 39.6% of the total NE-K in the soils. Generally speaking, the release rate and percentage of soil NE-K gradually increased from the east to the west of China, the release parameters of NE-K were the highest in northwest soils and the lowest in the northeast soils, on average. The release rate of NE-K was very closely and positively correlated with the potassium uptake by corn seedlings in the potassium depletion experiment in greenhouse. Therefore, it could be used as a reliable index of potassium-supplying power in soil.

Key words Non-exchangeable potassium, Release rate, Continuous flow apparatus