

旱地土壤有效钾测定方法的研究

戴自强 李明德

(湖南省土壤肥料研究所, 410125)

摘 要

本文用盆栽耗竭试验为参比,研究了7种化学浸提测钾方法对旱地土壤的适用性。试验结果表明:1.作物吸收的有效钾中非交换性钾占有很大比重,表明它是作物钾素的主要给源。2.供试7种化学浸提方法的测定结果与盆栽试验中的四项参比标准的统计结果表明,2mol/L冷HNO₃法和阳离子树脂袋法与参比标准的相关性最好,均达极显著水平。3.2mol/L冷HNO₃法和阳离子树脂袋法所提取的非交换性钾与作物吸收非交换性钾总量也都呈极显著相关,表明两法提取的非交换性钾均属能被作物吸收的易有效的非交换性钾。4.本文推荐2mol/L冷HNO₃法和阳离子树脂袋作为旱地土壤有效钾的测定方法,但2mol/L冷HNO₃法在操作上更为简便。

关键词 耗竭试验, 供钾能力, 有效钾, 测钾方法

评价土壤钾素有效性的方法有生物法,化学法和物理化学等多种方法。虽然生物法是了解土壤钾素有效性的最直接而有效的方法,但其周期长,工作量大,而化学提取法具有简便,快速的优点,在国内外都得到广泛使用。关于化学提取法测定土壤有效钾的研究已有很多报道^[1-4]。在本研究中,我们选用7种化学提取测钾方法,用生物法为参比,研究其在旱地土壤的适用性。现将试验结果报告如下。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

样品采自湖南省发育于不同成土母质类型的9种旱地土壤(0—20cm),进行生物耗竭试验。其基本性状列于表1。

1.2 生物耗竭试验

供试土壤经风干、压碎、过筛后,每钵装土5kg,设NP(对照)和NPK两处理。施肥量分别为N:108mg/kg, P₂O₅:50mg/kg, K₂O:108mg/kg,部分土壤补充微量元素。均用化学试剂配成溶液加入土壤中,每处理重复5次,另设一钵为空白对照(不种作物)。供试作物为玉米,每钵定苗10株,播后25—40天收割(根据气候而定)。试验从1990年3月至1992年10月,共连续种植15季。每季收割时,只收割地上部分,并测其干物重(5次重复平均值)和植株全钾含量,求得玉米植株的总吸钾量。每

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

土号	采样地点	成土母质	土壤名称	pH	有机 (H ₂ O)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	缓效钾 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	阳离子 交换量 (coml(+)/kg)	粘粒含量 (%)
Soil No.	Locality	Parent material	Soil name		C	N	P	K	Slowly available K	Quickly available K	CEC	Clay content
1	望城	第四纪红色粘土	熟红土	4.9	11.0	1.19	0.45	15.5	222	130.1	12.11	36.35
2	桃江	石灰岩	灰红土	7.3	14.5	1.11	0.54	10.0	192	105.2	12.00	19.09
3	平江	板页岩	黄泥土	7.0	13.3	1.50	0.73	19.9	276	235.2	10.51	9.65
4	株洲	花岗岩	麻沙土	6.8	6.9	0.76	0.38	23.8	1163	81.6	7.43	6.69
5	桃江	砂岩	红沙土	5.9	9.3	1.08	0.46	9.7	152	110.7	8.28	17.77
6	衡山	紫色砂页岩	紫色土	8.4	5.3	0.98	0.85	26.6	603	199.2	15.72	15.00
7	益阳	河流冲积物	河沙土	6.3	6.2	1.10	0.67	24.9	437	81.6	8.18	11.99
8	南县	河积物	紫潮泥土	8.1	17.0	2.09	0.96	24.7	628	229.7	17.95	26.36
9	长江	第四纪红色粘土	菜园土	5.3	17.7	1.79	1.23	12.2	185	257.3	12.43	25.41

次收割后,把每钵中根挑出。剪碎与土壤拌匀后,采集土样测定土壤钾素的变化,再施肥拌匀后,重新装钵,继续种植。整个试验期间均用去离子水浇灌。

1.3 化学提取测定方法

土壤有效钾的浸提测定用风干的原始土样进行,细度为通过 1mm 筛孔。供试的化学浸提测定方法

表2 供试的化学浸提测定方法

Table 2 Methods used for Chemical extraction in the study

方法 Method	浸提剂 Extractant	土:液 soil/ extractant	提取方法 Method for extraction	文献编号 Reference No.
1mol/L NH ₄ OAC	1mol/L NH ₄ OAC pH=7	1:10	振荡30分钟	[5]
Bary I	0.03mol/L NH ₄ F-0.025mol/L HCl	1:10	振荡30分钟	[6]
Mehlich I	0.05mol/L HCl-0.0125mol/L H ₂ SO ₄	1:4	振荡5分钟	[7]
Mehlich III	0.2mol/L HOAC-0.25mol/L NH ₄ NO ₃ -0.15mol/L NH ₄ F-0.013mol/L HNO ₃ -0.001mol/L EDTA	1:10	振荡5分钟	[8]
缓效钾 ¹⁾	1mol/L HNO ₃	1:10	煮沸10分钟	[5]
2mol/L冷HNO ₃	2mol/L HNO ₃	1:20	振荡30分钟	[9]
树脂袋连续提取法 ²⁾	737型阳离子交换树脂(氢型)过40 筛孔,树脂(克):土壤(克)=1:2	1:36	每次振荡180分钟	[10]

1) 缓效钾: 1mol/L HNO₃煮沸法提取钾-1mol/L NH₄OAC法提取钾。

2) 阳离子交换树脂袋连续提取法为连续6次提取总量。本文中简称树脂袋法。

见表 2。

植株全钾和土样其它项测定均按“土壤农业化学常规分析方法”^[15]进行。

2 结果和讨论

2.1 玉米盆栽耗竭试验结果与分析

盆栽试验中氮磷处理(无钾),植株吸钾量的多少取决于土壤的供钾能力。统计氮磷处理 15 季玉米植株的吸钾总量,相对吸钾量,干物质总量和相对干物量。结果列入表 3。

表 3 玉米盆栽耗竭试验结果
Table 3 The results of exhaustion Pot experiment of corn

土 号	土壤名称	总吸钾量	相对吸钾量	总干物质质量	相对干物质量
Siol	Siol	(K mg/钵)	(%)	(g/钵)	(%)
No.	name	K absorbed (mg/Pot)	Reletive amount of K absorbed (%)	Total dry metter (g/Pot)	Reletive amount of dry metter (%)
1	熟红土	741.5	18.75	36.07	48.99
2	灰红土	600.7	12.42	53.29	47.04
3	黄泥土	1786.3	23.44	107.94	58.54
4	麻沙土	521.4	11.04	41.13	33.65
5	红沙土	615.9	13.19	33.84	39.54
6	紫色土	2082.1	32.26	100.13	74.79
7	河沙土	709.2	15.75	56.29	52.03
8	紫潮泥土	2616.9	35.11	124.12	79.11
9	菜园土	1543.8	27.84	64.89	52.50

注: 1、2、4、5、7、9号土, 种植10季后玉米苗因缺钾死亡, 不能继续种植, 均为10季结果, 3号土为14季结果, 6号和8号土为15季结果。

从表 3 结果看出, 供试土壤钾的供应能力有很大差异。氮磷处理玉米植株吸钾总量与相对吸钾量均以紫潮泥土最高, 分别为 2616.9mg / 钵和 35.11%。麻沙土最低, 仅为 521.4mg / 钵和 11.04%。最高和最低相差 5.01 倍和 3.18 倍。玉米植株干物质总量与相对干物质质量的最高和最低值也分别相差 3.67 倍和 2.35 倍, 反映供试土壤供钾能力有显著差异。

在连续种植过程中, 由于植株对钾的强烈吸收, 故随种植次数增加, 植株吸钾量将逐渐减少。从玉米植株不同季数的吸钾总量, 吸交换性钾量和吸非交换性钾量的结果(表 4)可以看出, 随玉米种植季数的增加, 土壤中有效钾被消耗, 6—10 季玉米植株的吸钾总量明显减少, 其减少的程度又随土壤供钾能力大小而异。1—5 季吸收交换性钾的比例较大, 6—10 季吸收非交换性钾的比例却逐渐增加。10 季玉米植株吸钾总量中, 来自交换性钾量占 22.61—69.44%, 来自非交换性钾量占 30.56—77.39%。这表明供作物吸

收的有效钾中,非交换性钾占有很大的比重,它也是作物钾素的主要给源^[2,9,11]。因此在土壤有效钾的测定中,除包括交换性钾外,还应包括部分易有效的非交换性钾,这样才更为合理。

表 4 玉米对土壤交换性钾和非交换性钾的吸收量

Table 4 The amounts of exchangeable K and nonexchangeable K absorbed by Corn

Soil No.	1—5季 (Season)			6—10季 (Season)			1—10季 (Season)		
	吸钾总量 K mg/钵 Total K abso- rbed (mg/ pot)	吸交换性钾占 吸钾总量% 量% % of K abso- rbed in total K absorbed	吸非交换性钾 占吸钾总量% 总量% % of nonexcha- ngeable K absorbed in total K absorbed	吸钾总量 K mg/钵 Total K abso- rbed (mg/ pot)	吸交换性钾占 吸钾总量% 量% % of K abso- rbed in total K absorbed	吸非交换性钾 占吸钾总量% 总量% % of nonexcha- ngeable K absorbed in total K absorbed	吸钾总量 K mg/钵 Total K abso- rbed (mg/ pot)	吸交换性钾占 吸钾总量% 量% % of K abso- rbed in total K absorbed	吸非交换性钾 占吸钾总量% 总量% % of nonexcha- ngeable K absorbed in total K absorbed
1	526.9	70.90	21.90	214.6	32.82	65.18	741.5	60.46	39.54
2	351.6	66.94	33.06	249.2	38.81	61.19	600.8	55.27	44.73
3	1107.6	76.18	23.82	456.2	24.29	75.71	1563.8	61.04	37.73
4	372.2	63.11	36.89	148.4	23.36	76.64	520.6	51.74	48.26
5	463.4	71.65	28.35	152.4	45.48	54.52	615.8	65.17	34.83
6	851.3	37.40	62.60	677.7	4.04	95.96	1529.0	22.61	77.39
7	516.7	40.16	59.84	192.4	17.90	82.10	709.1	34.12	65.88
8	1153.8	44.39	55.61	850.4	0	100.0	2004.2	25.55	74.45
9	1262.0	76.07	23.93	281.8	39.70	60.24	1543.8	69.44	30.56

2.2 化学提取测定法的结果与分析

我们选用 7 种化学浸提测定法对供试土壤有效钾进行测定(表 5)

从表 5 结果可知,如以 1mol/L NH_4OAC 法提取的交换性钾为标准, Bary I 法, Mehlich I 和 Mehlich III 法的测定值与 NH_4OAC 法的测定结果十分接近(相关系数分别为 0.942**, 0.786*, 0.997**)。表明这三种方法均属交换性钾测定方法。而 Bary I 法和 Mehlich I 法对石灰性土壤(紫色土和紫潮泥土)的测定,由于其浸提剂中的酸被中和,测定值明显低于 NH_4OAC 法。Mehlich I 法由于水土比例小,降低更为明显,表明这两种方法显然不适用于石灰性土壤。而 Mehlich III 法却表现较强的浸提能力,其测定值均稍高于 NH_4OAC 法。在比较的方法中 1mol/L HNO_3 煮沸法(缓效钾), 2mol/L 冷 HNO_3 法和树脂袋法测定值均大于交换性钾量,且以 1mol/L HNO_3 煮沸法测定值最高, 2mol/L 冷 HNO_3 法和树脂袋法的测定值相近。表明这三种方法的钾素中,除了交换性钾外,还包括部分非交换性钾。将各方法测定值与玉米盆栽试验的四项参比标准(表 3)进行统计分析,结果列于表 6。

表5 不同化学提取法测定结果(K mg/kg)

Table 5 The amounts of K exatracted by different Chemical methods (K mg/kg)

土壤	1 mol/L	Bary	Mehlich	Mehlich	缓效钾	Cold	树脂袋法
Soil	NH ₄ OAC	I	I	III	Slowly available K	2 mol/L HNO ₃	Resin bag
1 熟红土	130.1	113.5	104.4	149.4	222.5	157.7	155.6
2 灰红土	105.2	89.9	97.5	116.2	191.8	135.6	132.3
3 黄沙土	235.2	232.4	231.8	282.2	276.4	348.6	303.9
4 麻沙土	81.6	94.1	74.7	93.1	1163.0	110.7	86.2
5 红沙土	110.7	119.0	100.3	132.8	151.9	127.3	118.9
6 紫色土	199.2	155.0	87.8	238.0	603.5	470.4	623.1
7 河沙土	81.6	77.5	73.3	88.6	437.5	146.7	134.3
8 紫潮泥土	229.7	166.0	118.3	265.6	628.4	470.4	491.8
9 菜园土	257.3	243.5	237.2	287.2	185.1	309.9	286.4

表6 不同方法有效钾测定值与参比项的相关系数

Table 6 The corrlation coefficients between the reference items and the amounts of available K exatracted by different methods

方法	参 比 项				
	Reference items				
Method	总吸钾量	相对吸钾量	总干物质量	相对干物质量	相关系数平均值
	Total K	Reletive	Total dry	Reletive	Mean Value of
	absorbde	amount of	metter	amount of dry	correlation
		K absorbed		metter	coefficient
1 mol/L NH ₄ OAC	0.857**	0.863**	0.753*	0.680*	0.788
Bary I	0.669*	0.664	0.583	0.422	0.585
Mehlick I	0.397	0.385	0.362	0.151	0.324
Mehlich III	0.867**	0.862**	0.771*	0.689*	0.797
缓效钾	0.079	0.002	0.126	0.002	0.052
2 mol/L冷HNO ₃	0.985**	0.965**	0.923**	0.930**	0.951
树脂袋法	0.918**	0.925**	0.843**	0.925**	0.903

*, **分别为 5%和 1%的显著水平。

从表6结果可知 2mol / L 冷 HNO₃法和树脂袋法的测定值与四项参比标准之间的相关系数最高, 分别为 0.985*, 0.965*, 0.923**, 0.930**和 0.918*, 0.925**, 0.843**, 0.925**,均达到极显著水平。其次是 1mol / L NH₄OAC法和 Mehlich III法, 其相关系数也分别达到显著和极显著水平。而缓效钾与四项参比标准之间的相关性都很低。表明 2mol / L 冷 HNO₃法, 树脂袋法, Mehlich III法和 1mol / L NH₄OAC法的测定结果能反映旱地土壤供钾状况, 都可作为旱地土壤有效钾的指标, 但以 2mol / L 冷 HNO₃法和树脂袋法最好, 而 2mol / L 冷 HNO₃法操作更为简便。

从我们的试验结果分析,缓效钾与参比项相关性很低的原因是由于其浸提土壤作用太强,在某些土壤上浸提出大量作物不能吸收的非交换性钾的缘故。在麻沙土,其浸出量高达 1163.0mg / kg,而玉米的吸钾量却最低。我们将 2mol / L 冷 HNO₃法,树脂袋法和 1mol / L HNO₃煮沸法所浸提的非交换性钾值与 10 季玉米吸收非交换性钾总量进行相关统计(表 7)。

表 7 不同方法提取的非交换性钾有效性的比较

Table 7 Comparison of nonexchangeable K extracted by different methods

参 比 Reference	方 法 Method		
	2 mol/L冷HNO ₃ 法 -交换性钾 Cold 2 mol/L HNO ₃ methed-exchangeable K	树脂袋法 -交换性钾 Resin bag methed-exchangeable K	1mol/L HNO ₃ 煮沸法 -交换性钾 Boiling 1 mol/L HNO ₃ methed-exchangeable K
吸非交换性钾 总量 (k mg/钵)	0.956**	0.885**	0.253

** 表示达1%极显著水平

结果表明: 2mol / L 冷 HNO₃法和树脂袋法所提取的非交换性钾值与 10 季玉米植株吸收非交换性钾总量的相关系数高达 0.965** 和 0.885**, 达极显著水准, 表明两法浸提出的非交换性钾是能被作物吸收的易有效的非交换性钾, 而 1mol / L HNO₃煮沸法浸提出的非交换性钾(缓效钾)与玉米植株吸收非交换性钾总量的相关系数仅为 0.253, 表明其浸提出的非交换性钾中, 有大量是作物不能立即吸收的无效的非交换性钾。

土壤中水溶性钾, 交换性钾和非交换性钾处于动态平衡状态。在玉米盆栽耗竭试验中, 空白对照处理(不种作物)的土壤, 每季种植结束后, 也同时取其土样进行交换性钾和缓效性钾含量的测定, 虽历时 20 个月之久, 但其 15 次交换性钾和缓效性钾的测定值, 几乎能维持在原始土壤的水平。表明在不种植作物的情况下, 不同形态的钾素的动态平衡处于较稳定状态。但在连续种植作物之后, 由于作物对钾素的吸收, 随种植季数的增加, 交换钾量明显下降, 当交换性钾减少到一定水平时, 非交换性钾就会释放出来补充, 从而使交换性钾能较稳定地维持在这一最低水平上。交换性钾下降到最低水平的高低, 受非交换性钾释放速度快慢的影响, 即非交换性钾供应速率的影响。在作物耗竭试验中交换性钾的最低值, 可以用来反映土壤缓效性钾(易有效的非交换性钾)的供应速率^[12]。

我们将玉米盆栽耗竭试验中第 10 季土壤交换性钾的最低值列于表 8。

用表 8 的结果进行统计, 种植玉米 10 季后土壤交换性钾的最低值与 10 季玉米植株吸收非交换性钾总量的相关系数达 0.957**。表明交换性钾的最低值可很好地反映土壤易有效非交换性钾的供应速率。2mol / L 冷 HNO₃法浸提出的非交换性钾值(2mol / L 冷 HNO₃值——交换性钾)与交换性钾的最低值呈极显著相关(相关系数为 0.966**)。树脂袋法浸提出的非交换性钾值(树脂袋法测定值——交换性钾)与交换性钾的最低值也呈

表 8 玉米盆栽耗竭试验中交换性钾的最低值

Table 8 The lowest Value of exchangeable K in the exhaustion pot experiment of Corn

土壤名称 Name soil	交换性钾最低值 (K mg/钵) Lowest Value of exchangeable K	10季玉米吸收非交换 钾总量(K mg/钵) Nonexchangeable K absorbed
熟红土	40.4	293.2
灰红土	38.8	268.7
黄沙土	44.2	609.2
麻沙土	27.6	251.6
红沙土	30.4	214.2
紫沙土	130.1	1183.2
河沙土	33.2	467.2
紫潮沙土	127.3	1492.1
菜园土	42.9	471.6

极显著相关(相关系数为 0.958**), 这表明两法浸提出的非交换性钾都属易有效非交换性钾。

2mol / L 冷 HNO₃法是鲍士旦和史瑞和在 1984 年推荐作为水稻土有效钾测定的较好方法^[9]。树脂袋法是谢建昌和杜承林在 1988 年推荐作为评价土壤钾素有效性的较好方法^[2]。本研究表明, 2mol / L 冷 HNO₃法和树脂袋法与玉米盆栽耗竭试验结果的四项参比相关均达极显著水平, 能较好地反映旱地土壤供钾状况, 也都是测定旱地土壤有效钾的较好方法。但 2mol / L 冷 HNO₃法在操作上更为简便。

参 考 文 献

1. 陆允甫、周鸣铮, 1986: 红壤旱地土壤速效钾测定方法与指标的研究。浙江农业科学, 4 期, 162—166 页。
2. 谢建昌, 杜承林, 1988: 土壤钾素的有效性及其评定方法的研究。土壤学报, 第 25 卷 3 期, 269—280 页。
3. 用米平等, 1991: 冷硝酸法浸提土壤有效钾的研究。土壤肥料, 1 期, 43—45 页。
4. 游植彝, 1992: 土壤速效钾测定方法的比较研究。土壤肥料, 4 期, 45—48 页。
5. 中国土壤学会农业化学专业委员会, 1983: 土壤农业化学常规分析方法。科学出版社, 111—116 页。
6. Bary, R. H., Kurtz, L. T. 1945: Determination of total organic and available forms of P in soil. Soil. Sci. 59: 39.
7. Mehlich, A. 1953: Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄. North Carolina Soil. Test Division Mimeo.
8. Mehlich, A. 1984: Mehlich 3 Soil test: A modification of Mehlich 2 extractant commun. S. S. P. A. 15(12): 1409—1416.
9. 鲍士旦、史瑞和, 1984: 土壤钾素供应状况的研究。II. 土壤供钾状况与水稻吸钾间的关系。南京农学院学报, 第 7 卷 4 期, 70—78 页。
10. 杜承林, 1987: 阳离子交换树脂袋法在土壤钾素研究中的应用。《钾的土壤测试与作物反应》。江苏科学出版社, 48—54 页。
11. 鲍士旦, 史瑞和, 1982: 土壤钾素供应状况的研究。I: 江苏省几种土壤供应状况与禾谷类作物(小麦)对钾吸收

能力的关系。南京农学院学报, 第 5 卷 1 期, 59—66 页。

12. 张建才等, 1988: 江苏省几种不同土壤钾素的供应状况的研究。南京农业大学学报, 第 11 卷 2 期, 73—81 页。

STUDY ON DETERMINATION METHODS FOR AVAILABLE POTASSIUM IN UPLAND FIELD

Dai Ziqiang and Li Mingde

(Hunan Institute of Soil and fertilizer, Changsha 410125)

Summary

The suitability of seven methods for chemical extraction of available potassium in the upland field was studied by using exhaustion pot experiment as the reference standard. The results were summarized as follows: 1. Available K absorbed by plants mainly came from the nonexchangeable K, which was the main source of K taken up by plants. 2. Determination results of correlation coefficients between four reference standards of pot experiment and results of seven chemical methods showed that correlation between cold 2 mol / L HNO_3 method and Cation-exchange resin bag method was highly significant (0.953 and 0.903 average). 3. The correlation between the nonexchangeable K extracted by cold 2 mol / L HNO_3 method and Cation-exchange resin bag method and the amount of nonexchangeable K absorbed by plant was highly significant. 4. Both of the cold 2 mol / L HNO_3 method and Cation-exchange resin bag method could be recommended as the methods for the determination of available potassium in upland field, but the Cold 2 mol / L HNO_3 method was more simple and convenient than the Cation-exchange resin bag method.

Key words Exhaustion experiment, K-Supplying power, Available K, Determination method