

# 我国主要土壤供钾能力的综合评价\*

杨 振 明

(长春农牧大学农学系, 长春 130062)

周文佐<sup>1)</sup> 鲍士旦 史瑞和

(南京农业大学资环学院, 南京 210095)

**摘 要** 本文应用生物耗竭法并结合化学方法对我国 11 种主要土壤的供钾能力做了综合评价。研究表明: (1) 土壤耗竭后, 交换性钾的“最低值”出现的时期及绝对量大小, 因土壤类型不同而异。土壤交换性钾亦存在“利用率”或“有效度”问题。“最低值”是土壤的重要供钾特性之一。(2) 随着耗竭次数的增加, 土壤非交换性钾在达到“最低值”后又回升, 至耗竭结束, 11 种土壤大都接近甚至超过了耗竭前水平, 认为是 1 mol/L 热  $\text{HNO}_3$  不能提取钾大量释放所致。(3) 耗竭条件下, 作物吸收的钾主要来自于非交换性钾, 且以 1 mol/L 热  $\text{HNO}_3$  不能提取钾为主, 该组分的钾仍属非交换性钾而非矿物钾。(4) 2 mol/L 冷  $\text{HNO}_3$  法提取的有效钾与作物吸钾量间的相关性最好, 且该法操作简便、快速, 适于水、旱田土壤钾素的测定。根据有效钾含量并结合交换性钾的“最低值”, 对我国 11 种主要土壤的供钾能力进行了初步分级。

**关键词** 生物耗竭, 供钾能力, 有效钾, “最低值”

**中图分类号** S158.3

切实了解土壤的供钾状况是充分发挥土壤供钾潜能, 合理分配、施用钾肥的前提。但由于土壤对作物的供钾能力受土壤类型、矿物组成、栽培方式、作物种类等诸多因素的影响, 加之土壤本身是一个多相、开放的动态体系, 因此, 正确评价土壤的供钾状况并不容易。目前, 人们多采用生物耗竭试验并结合化学方法来进行综合评价。生物耗竭法是评价土壤供钾状况的最客观、有效的方法<sup>[1,2]</sup>。化学方法主要是测定土壤的交换性钾、非交换性钾的含量变化, 以阐明土壤短期及长期的供钾潜力。交换性钾一般认为是土壤供钾的容量因子, 是当季作物吸钾的主要来源<sup>[3]</sup>。非交换性钾则可作为土壤长期供钾潜力的指标, 是牧草<sup>[4]</sup>、禾谷类等吸钾能力强的作物<sup>[5,6]</sup>或耗竭种植条件下作物钾的主要来源<sup>[7]</sup>。本试验应用生物耗竭法并结合中性  $\text{NH}_4\text{OAc}$  法、1mol/L 热  $\text{HNO}_3$  法、2mol/L 冷  $\text{HNO}_3$  法等三种化学方法对我国 11 种主要土壤的供钾能力作了综合评价, 以图为我国合理分配、施用钾肥提供理论依据。

\* 国家自然科学基金资助项目, 批准号: 39470408

1) 南京农业大学土壤农化专业96届毕业生

收稿日期: 1997-10-27; 收到修改稿日期: 1998-03-02

# 1 材料与方法

## 1.1 供试土壤

供试土壤的采集地点及基本理化性状参见文献 [8]。

## 1.2 生物耗竭实验

将供试土壤风干、压碎过 4mm 筛后混匀装于 20×23cm 的瓷钵内。每钵 6kg 土，施 N 0.15g/kg 土；P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.10g/kg 土及适量微量元素，均不施钾肥。重复 12 次。首先种植黑麦草(南农 52—2—22 号)，每钵定苗 60 株。连续收割四次后(11 号土因采样时间较晚，未能种植)，改种水稻(品种为籼优 63)，每钵 5 株。成熟后收割并采集土样。将盆土重新压碎过筛，混匀装盆。每盆 5kg 土。改种冬小麦(品种为扬麦 5 号)，每钵 10 株，重复 12 次。施肥量同上。成熟后收割、采样并再次改种水稻(方法同上)。所有实验用水均为去离子水。最后测定植株吸钾量及土壤交换性钾、非交换性钾及有效钾含量。

## 1.3 测试方法

植株钾、土壤交换性钾采用 1mol/L 中性 NH<sub>4</sub>OAc 法、非交换性钾采用 1mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 法、有效钾采用鲍士旦等提出的 2mol/L 冷 HNO<sub>3</sub> 法<sup>[6]</sup> 即：称取风干土 2.5g 于 100ml 塑料瓶内，加入 2mol/L HNO<sub>3</sub> 50ml，振荡 30min，立即过滤。

滤液中的钾用火焰光度计测定。

# 2 结果与讨论

## 2.1 耗竭后土壤不同形态钾含量的变化

2.1.1 交换性钾的变化及其“最低值” 结果见表 1。可以看出，供试土壤经耗竭后，交

表1 耗竭后土壤交换性钾的变化 (mg/kg)

Table 1 Soil exchangeable K content after every harvest of crops in a K depletion experiment  
(Pot experiment on 11 soils)

土号 Soil sample No.	土壤 Soil	耗竭前 Pre-experiment	第四次 Fourth	第五次 Fifth	第六次 Sixth	第七次 Seventh
		(mg/kg soil)				
1	矮土	206.8±3.8aA	124.7±4.4 bB	97.2±7.3 cC	85.8±1.3 dD	71.9±3.3 eE
2	紫色土 I	100.7±1.4aA	70.2±4.5 bB	68.1±4.7 bB	58.3±2.4 bcB	48.6±1.0 cB
3	紫色土 II	177.1±5.1aA	101.0±11.3 bB	97.7±4.7 bB	77.9±4.9 cC	70.5±2.1 dD
4	灰潮土	66.2±0.9aA	35.3±3.0 bB	28.3±1.2 cC	24.8±1.4 dD	22.9±0.1 eE
5	褐土	93.3±0.8aA	49.6±2.3 bB	46.1±1.1 cBC	44.4±1.4 cC	28.6±2.2 dD
6	黄棕壤	88.3±0.9aA	64.5±5.1 bB	58.4±2.1 cC	44.8±1.7 dD	36.0±1.9 eE
7	黄潮土	103.1±2.6aA	73.0±8.0 bB	55.8±2.7 cC	44.4±1.4 dD	38.4±1.0 eE
8	草甸黑土	389.4±6.8aA	201.0±12.0 bB	141.7±5.2 cC	116.8±2.0 dD	93.2±6.1 eE
9	棕壤	36.6±1.2aA	20.3±1.7 bB	19.0±1.0 bB	14.1±0.1 bB	20.4±2.2 bB
10	红壤	38.7±0.6aA	25.2±1.5 cC	24.0±1.5 cC	24.0±1.0 cC	31.8±1.8 bB
11	赤红壤	82.2±2.0aA	—	11.9±0.5 cC	11.7±1.2 cC	20.6±2.8 bB

注：紫色土 I、II 分别为石灰性、中性紫色土。表中字母为同一土壤不同耗竭次数间交换性钾的多重比较结果(新复极差测验)，其中大、小写字母分别为  $\alpha = 0.01$  和 0.05 水平上的显著性(下表同)。

换性钾都有较大幅度的下降,11种土壤下降的幅度为38.0%—85.8%(9、10、11号土未包括第七次耗竭),平均下降了63.2%。其中以11号土下降的幅度最大(为85.8%),其次是8号土(为76.1%),最低的是10号土(为38.0%)。根据交换性钾随耗竭次数下降的情况,可以将11种供试土壤分为如下三类:(1)经七次耗竭仍未出现“最低值”的土壤,如1、6、7、8号土。(2)耗竭后很快达到“最低值”,且基本维持在这一水平。如9、10、11、4号土。(3)经4—6次耗竭后达到“最低值”,但随着土壤进一步耗竭,则交换性钾继续下降或又达到一个新的“最低值”水平。如2、3、5号土。属于第一类的土壤,其交换性钾的供应比较持久。这里又有两种情况,一种是较高水平下的持久,如8、1号土,其原土壤的交换性钾含量较高,分别为389.4和206.8mg/kg。为供试土壤中交换性钾含量最高的两种土壤,七次耗竭下降的绝对量分别为296.2和134.9mg/kg,供钾强度较高。另一种情况是较低水平下的持久,如6、7号土,其原交换性钾含量不很高,分别为88.3和103.1mg/kg,七次耗竭后分别下降了53.2和64.7mg/kg。说明8、1号土供钾能力不但持久且强度亦大,而6、7号土虽然供钾较持久,但供应强度不高。对于第二类土壤,其交换性钾经轻度耗竭后即迅速达到“最低值”且不再下降,这一方面说明此类土壤交换性钾的供应速度较快,同时也表明其持续供钾能力较低。在第七次耗竭时,9、10、11号土上的水稻因土壤严重缺钾不能正常生长(正因如此,第七次耗竭后这三种土壤的交换性钾含量有所回升)而过早死亡就证明了这一点。属于第三类的土壤,其供钾能力一般介于第一、第二类土壤之间。当然,只根据交换性钾的变化情况来评价土壤供钾能力是不全面的,还应结合其他方法综合评价。

表2 七次耗竭后作物吸收不同形态钾量(kg/钵)占耗竭前土壤该形态钾量的比例(%)

Table 2 Total amounts of K absorbed by 7 successive crops and accounting for the % of soil K of pre-experiment

土号 Soil sample No.	作物吸 钾总量 Total amount of K absorbed	吸收来自	吸收来自非	A占土壤	B占土壤交	C占土壤非
		交换性钾量 Exch. K (g/pot)	交换性钾量 Non-exch. K	全钾量的 %	换性钾量的 %	交换性钾量的 %
	(A)	(B)	(C)	% of A in soil total. K	% of B in soil exch. K	% of C in soil non-exch. K
1	2.78	0.68	2.10	2.50	65.8	33.8
2	1.65	0.26	1.39	1.32	51.6	55.4
3	1.61	0.53	1.08	1.39	59.9	30.1
4	1.37	0.22	1.15	1.48	66.5	60.1
5	2.09	0.32	1.77	1.95	68.6	37.7
6	0.65	0.26	0.39	0.68	58.9	17.5
7	1.55	0.32	1.23	1.66	62.1	38.1
8	3.93	1.48	2.45	3.73	76.0	52.9
9	0.36	0.08	0.28	0.31	43.7	9.5
10	0.24	0.04	0.20	0.46	20.7	47.9
11	0.50	0.31	0.19	0.81	75.4	119.5
平均	1.52	0.41	1.11	1.48	64.9	45.7

注: (C)项包括1mol/L热HNO<sub>3</sub>提取和不能提取钾。

土壤交换性钾的“最低值”出现的时期及绝对量的大小是土壤供钾的主要特征之一。耗竭前土壤交换性钾含量与“最低值”之差是作物可利用部分<sup>[8]</sup>，“最低值”表征的则是被土壤固持较紧的不易被植物吸收利用的交换性钾含量。表明土壤交换性钾同样也存在一个“有效度”或“利用率”的问题。这说明一般情况下测得的交换性钾并不能全部为作物吸收利用。从表 2 作物七次耗竭吸收来自交换性钾的量占土壤耗竭前交换性钾量的比例也可以看出, 11 种土壤为 20.7%~76.0%, 平均 64.9%, 进一步说明交换性钾对作物并不是全部有效。

此外, 不同的栽培方式对交换性钾“最低值”的出现有很大影响。在第六次耗竭冬小麦的不同生育期内, 11 种土壤的交换性钾含量变化甚小, 但改种水稻后(第七次耗竭), 不同土壤的变化不尽一致。除 3、4 号土仍维持原“最低值”, 10、11 号土略有升高外, 其余土壤则又开始下降。这说明稻麦轮作(干湿交替)对土壤钾素释放、固定的影响较大<sup>[9, 10]</sup>。

2.1.2 非交换性钾(1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 提取钾)的变化 由图 1 a, b 可以看出, 土壤经四次黑麦草和一次水稻(11 号土未进行黑麦草耗竭)耗竭后, 10 种土壤非交换性钾基本都降至了“最低值”。11 种土壤下降的幅度为: 10.7%~29.6%, 平均 19.2%。可见非交换性钾下降的幅度较交换性钾要小得多[仅四次黑麦草耗竭后, 土壤交换性钾下降的幅度即为 27.0%~48.4%, 平均 31.9%(未包括 11 号土)]。这主要是由于在轻度耗竭时作物吸收的钾主要为交换性钾所致(见本文 2.2)\*。这与以往的研究结论相一致<sup>[7, 10~12]</sup>。

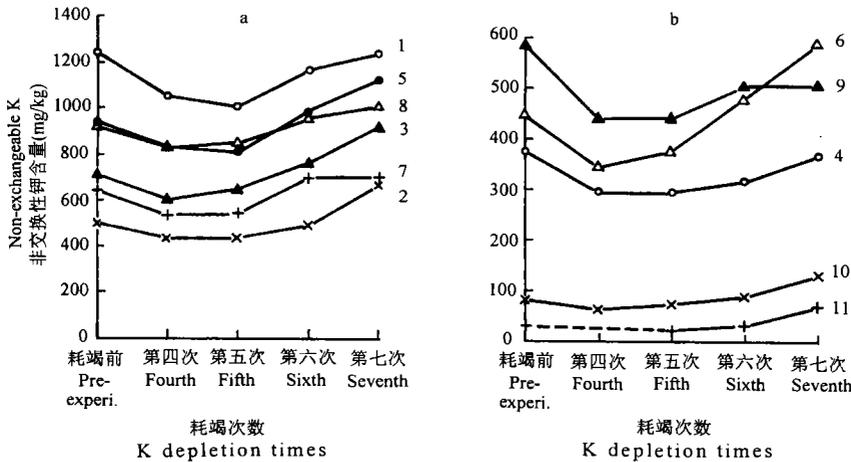


图1 耗竭后土壤非交换性钾的变化

Fig.1 Soil non-exchangeable K content after every harvest of crops in a soil K depletion experiment (pot experiment on 11 soils)

从图 1a, b 还可发现, 从第五次耗竭开始, 11 种土壤的非交换性钾含量都开始或已经回升, 至第七次耗竭结束, 基本都接近甚至超过了耗竭前的水平, 这与以往的研究不一致<sup>[1, 6, 7]</sup>。出现这一现象可能是由于本试验土壤耗竭强度较大, 加之作物根系的“刺激作用”, 使 1mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 不能提取钾大量释放所致<sup>[8]</sup>, 作物在后几次耗竭中吸收的钾大部分亦来自于 1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 不能提取钾, 而来自于矿物钾<sup>[13, 14]</sup>的可能性很小。因为矿物钾

的释放是一个非常缓慢的过程,很难在几次耗竭后(即使耗竭强度较高)立即大量释放。我们知道,土壤矿物钾一般占土壤全钾的90%~98%,非交换性钾占6%以下,一般不足2%<sup>[15]</sup>。从表2可以看出,七次耗竭作物吸钾总量占土壤全钾量的百分数,11种土壤为0.31%~3.70%,平均1.60%。如果土壤耗竭后作物吸收的钾大部分来自矿物钾,则这一比例应超过6%。而本实验结果表明,作物吸钾量占土壤全钾量的比例仍在非交换性钾占土壤全钾的比例范围内。此外,从作物吸钾总量中来自非交换性钾的量(实际还包括了1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 不能提取钾)占耗竭前土壤非交换性钾量的百分比可以看出,除非交换性钾含量最低的11号土外,其余10种土壤都在60%以下,平均38.36%。这除了说明非交换性钾同样存在“有效度”或“利用率”的问题外,同时也进一步证明了耗竭条件下作物吸收的钾并不是直接来自于矿物钾这一结论。11号土上述比例超过100%,主要是由于非交换性钾含量(31.8 mg/kg)过低,吸收的钾主要由交换性钾及1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 不能提取钾提供所致。我们认为,1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 不能提取钾仍属非交换性钾范畴,只是其有效性不如1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 提取钾高,因此,只有在耗竭强度较大时才对作物吸钾有贡献。作者据此而提出的土壤钾素形态分级,请参见文献[8]。

## 2.2 不同形态钾对作物吸钾的贡献

由表3可以看出,在前四次黑麦草耗竭时,作物吸钾总量中交换性钾所占的比例较高,10种土壤(未包括11号土)为35.6%~88.4%,平均58.5%,相应地非交换性钾(包括1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 提取和不能提取钾)则为41.5%。从第五次(11号土从第二次)耗竭开始,土壤交换性钾对作物吸钾的贡献明显降低,两次水稻一次冬小麦耗竭,交换性钾的贡献都在15%左右,而非交换性钾的贡献都在80%左右,且大部分为1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 不能提取钾,说明随着耗竭强度的增加,1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 不能提取钾对作物吸钾的贡献变大。七次(11号土3次)耗竭除9号土因交换性钾与1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 提取钾之和超过总吸钾量而无法计算外,其余土壤交换性钾占总吸钾量的比例平均为26.8%,1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 不能提取钾为72.6%。这与史建文等<sup>[10,12]</sup>的研究结论一致。

从本实验可以发现,在计算前四次黑麦草耗竭后非交换性钾(1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 提取钾)对作物吸钾的贡献时,出现土壤实测值(种植作物前后土壤非交换性钾量之差)高于吸钾总量与来自土壤交换性钾量之差的现象,而在其后的耗竭过程中,由于非交换性钾含量升高又无法计算其对作物吸钾的贡献。早在1969年,Conyers<sup>[1]</sup>就发现了这一问题,并提出采用差减法(吸钾总量与来自交换性钾量之差,即为非交换性钾提供的钾量,而不考虑土壤非交换性钾的实测值)来解决这一矛盾。在我国,苏国栋<sup>[16]</sup>、廖先苓<sup>[17]</sup>、何天秀<sup>[14]</sup>等的研究中,都出现过种植(耗竭)后土壤非交换性钾含量高于耗竭前的现象,但也都是采用上述差减法来计算的。这是建立在将土壤非交换性钾进一步分为1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 提取和不能提取钾的基础上进行的,如果要考虑1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 不能提取钾对作物吸钾的贡献,则必然涉及土壤实测值问题。显然,就会出现上述矛盾。本实验中前四次黑麦草耗竭的计算没有将非交换性钾进一步细分;后三次耗竭中,非交换性钾(1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 提取钾)的含量较种植前升高的土壤,非交换性钾对作物吸钾的贡献视为来自于1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 不能提取钾。这种计算方法有可能过高地估计了1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 不能提取钾的作用,因为土壤经耗竭后非交换性钾(1 mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 提取钾)的含量虽然升高,但其对作物吸钾仍可能有贡

表3 历次耗竭作物吸收各形态钾

Table 3 Amount of K absorbed by crops(g/pot) and

土号 Soil sample No.	前四次和(黑麦草) Sum of the first four(ryegrass)			第五次(水稻) Fifth(rice)				第六次(冬小麦) Sixth(winter wheat)			
	T-K	E	N+NN	T-K	E	N	NN	T-K	E	N	NN
	(mg/钵)			(mg/钵)				(mg/钵)			
1	557.0	92.6	64.4	1402.1	160.8	293.4	947.9	368.4	57.0	—	311.4
		(88.4)	(11.6)		(11.5)	(20.9)	(67.6)		(15.5)		(84.5)
2	514.6	183.0	311.6	479.5	12.6	—	466.9	334.1	49.0	—	285.1
		(35.6)	(64.4)		(2.6)		(97.4)		(14.7)		(85.3)
3	761.0	456.6	304.4	159.6	19.8	—	139.8	382.3	99.0	—	283.3
		(60.0)	(40.0)		(12.4)		(87.6)		(25.9)		(74.1)
4	513.2	185.4	327.8	506.8	42.0	—	464.8	229.7	17.5	—	212.2
		(36.1)	(63.9)		(8.3)		(91.7)		(7.6)		(92.4)
5	635.6	262.2	373.3	778.3	21.0	144.6	612.7	319.0	8.5	—	310.5
		(41.3)	(58.7)		(2.7)	(18.6)	(78.7)		(2.7)		(97.3)
6	328.2	142.8	185.4	114.7	36.6	—	78.1	72.9	68.0	—	4.9
		(43.5)	(56.5)		(31.9)		(68.1)		(93.3)		(6.7)
7	438.5	180.6	257.9	617.3	103.2	—	514.1	245.5	57.0	—	188.5
		(41.2)	(58.8)		(16.7)		(83.3)		(23.2)		(76.8)
8	1391.2	1130.4	260.8	1611.1	355.8	—	1255.3	337.5	124.5	—	213.0
		(81.3)	(18.7)		(22.1)		(77.9)		(36.9)		(63.1)
9	190.7	97.8	92.9	99.3	7.8	3.6	87.9	36.6	24.5	—	12.1
		(51.3)	(48.7)		(7.9)	(3.6)	(88.5)		(66.9)		(33.1)
10	161.6	81.0	80.6	67.5	7.2	—	60.3	15.0	0.0	—	15.0
		(50.1)	(49.9)		(10.7)		(89.3)				(100)
11	—	—	—	480.5	421.8	56.4	2.3	17.5	1.0	—	16.5
					(87.8)	(11.7)	(0.5)		(5.7)		(94.3)
平均	549.2	321.2	228.0	583.6	76.6	44.2	462.8	214.4	46.0	—	168.4
		(58.5)	(41.5)		(13.1)	(7.6)	(79.3)		(21.5)		(78.5)

注：表中 T-K 为作物吸钾总量；E 为来自交换性钾量；N、NN 分别为来自 1mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 提取和不能提取的钾量；号土；七次总计中未包括 9 号土。

献(见本文 2.3)。作者认为,目前应用的 1mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 法对于耗竭土壤可能不太适用。因为该方法本身即存在对土壤矿物作用过于激烈、测定值可能偏高的问题<sup>[18]</sup>,加之耗竭条件下作物吸钾及根系的“刺激作用”使矿物层间释钾量增加,从而导致测定结果偏高。

### 2.3 土壤钾素不同提取方法的比较

评价土壤供钾状况最客观、有效的方法即为生物耗竭法<sup>[1,2]</sup>,但该方法必须同时辅以化学方法测定土壤不同形态钾的含量才能进行评价。目前应用最多的土壤钾素指标,一是交换性钾(1mol/L 中性 NH<sub>4</sub>OAc 提取);二是非交换性钾(或缓效性钾,1mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 提取钾)。由于 1mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 法提取的钾量过高<sup>[18]</sup>,因此,鲍士旦等<sup>[6]</sup>提出以 2mol/L 冷 HNO<sub>3</sub>

## 量及其占总吸钾量的比例(%)

accounting for the % of total amount absorbed (figure in the brackets)

土号 Soil sample No.	第七次(水稻) Seventh(rice)				f	七次总计 Total of seventimes			
	T-K	E	N	NN		T-K	E	N	NN
	(mg/钵)					(g/钵)			
1	452.3	69.5 (15.4)	—	382.8 (84.6)		2.78 (bB)	0.68 (24.5)	0.01 (0.4)	2.09 (75.1)
2	321.9	48.5 (15.1)	—	237.4 (84.9)		1.65 (dD)	0.26 (15.8)	—	1.39 (84.2)
3	305.9	37.0 (12.1)	—	268.9 (87.9)		1.61 (eD)	0.53 (32.9)	—	1.08 (67.1)
4	123.7	9.5 (7.7)	—	114.2 (92.3)		1.37 (gF)	0.22 (16.1)	0.05 (3.6)	1.10 (80.3)
5	362.0	79.0 (21.8)	—	283.0 (78.2)		2.09 (cC)	0.32 (15.3)	—	1.77 (84.7)
6	132.0	44.0 (33.3)	—	88.0 (66.7)		0.65 (hG)	0.26 (40.0)	—	0.39 (60.0)
7	245.9	30.0 (12.2)	—	215.9 (87.8)		1.55 (fE)	0.32 (20.6)	—	1.23 (79.4)
8	588.1	118.0 (20.1)	—	470.1 (79.9)		3.93 (aA)	1.48 (37.7)	—	2.45 (62.3)
9	30.5	0.0 (0.0)	—	30.5 (100)		0.36 (jI)	0.08 (22.2)	—	0.40 (77.8)
10	0.0	0.0	—	0.0		0.24 (hJ)	0.04 (16.7)	—	0.20 (83.3)
11	0.0	0.0	—	0.0		0.50 (iH)	0.31 (62.0)	—	0.19 (38.0)
平均	280.7	48.4 (15.3)	—	232.3 (84.7)		1.64	0.44 (26.8)	—	1.19 (72.6)

括号内数据为该形态钾占作物吸钾总量的百分数。平均值中,第五次耗竭未包括 11 号土;第七次耗竭未包括 10、11

法来代替沸硝酸法。2mol/L 冷 HNO<sub>3</sub> 法测得的土壤钾素既包括了交换性钾也包括了非交换性钾中易于释放的部分,称为有效钾。鲍士旦<sup>[6,19]</sup>等的一系列研究表明,该法测得的有效钾与作物吸钾量间的相关性较前述两种形态钾更高。该法最初主要应用于水稻土钾素的测定,为探讨该方法广泛应用的可能性,本实验应用此法对我国 11 种主要土壤进行了测定,并与上述两种方法进行了比较。三种方法测得的钾含量与历次耗竭土壤上作物吸钾总量间的相关性见表 4。可以看出,除第四次耗竭黑麦草吸钾量与 1mol/L 热 HNO<sub>3</sub> 法提取的非交换性钾相关不显著外,其余各次耗竭作物吸钾量与三种方法提取的钾量间都存在极显著相关,而且都是 2mol/L 冷 HNO<sub>3</sub> 法的相关系数最高,说明该方法在评价土壤的供

表4 历次耗竭作物吸钾量(g/钵)与种植前不同方法提取钾含量(mg/kg)间的相关性

Table 4 Correlation between the amount of K absorbed by crops and soil K pre-planting extracted by different methods.

作物吸钾量 Amount of K absorbed by crops	n值 n	相关系数(r值) Correlation coefficients (r)		
		1mol/L NH <sub>4</sub> OAc	1mol/L 热HNO <sub>3</sub> 1mol/L boiling HNO <sub>3</sub>	2mol/L 冷HNO <sub>3</sub> 2mol/L cold HNO <sub>3</sub>
前四次和(黑麦草)	10	0.9281***	0.5571	0.9295***
第五次(水稻)	10	0.8008**	0.8007**	0.8693**
第六次(冬小麦)	11	0.7542**	0.8078***	0.8501***
第七次(水稻)	9	0.9170***	0.8000**	0.9231***
七次总吸钾量	11	0.8963***	0.7884**	0.9269***

注: 前四次、第五次耗竭未包括11号土; 第七次耗竭9、10、11号土水稻过早死亡, 未统计。

钾状况时, 要优于其他两种方法。戴自强等<sup>[20]</sup>应用7种化学浸提方法对旱地土壤有效钾测定方法的研究表明, 2mol/L冷HNO<sub>3</sub>法的测定结果与参比标准(生物法)的相关性最好, 提取的非交换性钾与作物吸收非交换性钾总量也呈极显著相关, 能较好地反映土壤供钾状况。这进一步说明此方法不仅适用于水稻土, 同样也适用于旱地土壤。该法克服了1mol/L热HNO<sub>3</sub>法对土壤矿物作用强度大、消煮的温度、时间不易掌握、重现性差等缺点, 因此适用于批量、快速测定。

本实验还表明: 从第五次耗竭以后, 既然非交换性钾(1mol/L热HNO<sub>3</sub>提取钾)与作物的吸钾量间存在极显著正相关, 那么, 该形态钾对作物吸钾就不能没有贡献, 而实际却又无法计算。我们认为2mol/L冷HNO<sub>3</sub>法可基本解决这一矛盾。因为该法的测定结果既包括了交换性钾又包含了非交换性钾中的有效部分(即为有效钾), 与作物吸钾量间的相关性很好。故在评价土壤的供钾状况及在生产实践中可直接应用有效钾这一指标进行评价和指导施肥。鲍士旦等<sup>[6, 19]</sup>根据盆栽及长达七年、九个实验点的田间实验结果提出, 有效钾含量在100~130mg/kg以下的土壤(水稻土)为缺钾土壤, 其钾肥的增产率一般都在10%以上。根据未耗竭土壤有效钾的含量(见本文献[8]), 结合前述土壤交换性钾的变化(“最低值”)情况及七次耗竭作物的总吸钾量(表3), 可初步将我国11种主要土壤的供钾能力作如下分级:

级别	有效钾含量(mg/kg)	土壤
一级	>200	草甸黑土、垆土
二级	100~200	褐土、石灰性紫色土、中性紫色土、黄潮土
三级	<100	灰潮土、黄棕壤、棕壤、红壤、赤红壤

上述11种土壤供钾能力的差异, 主要由不同土壤的矿物组成、不同粒径在土壤中的分布及其各形态钾含量间的差异决定的<sup>(1)</sup>。根据这一分级, 初步建议: 今后我国钾肥的分配及施用应首先考虑属第三级的土壤, 第二级的土壤也应适当补充, 而第一级土壤对钾肥的反应则可能不十分明显。因此, 在肥源不充足的条件下可暂不考虑。当然, 上述分级是

(1) 杨振明. 我国主要土壤不同粒径含钾矿物组成及其与供钾潜力的关系. [博士学位论文]南京农业大学, 1997

否合适,还应通过田间的肥料实验进一步验证,这方面的工作还有待继续进行。

### 参 考 文 献

1. 王家玉. 土壤非交换性钾的研究进展. 土壤学进展, 1991, 19(2): 9~17
2. 谢建昌. 土壤钾素研究的现状和展望. 土壤学进展, 1981, (1): 1~16
3. 金继运. 土壤钾素研究进展. 土壤学报, 1993, 30(1): 94~101
4. During C, Campkin R. Sources of potassium taken up by ryegrass from some soils of North Island, New Zealand Journal of Agricultural Research, 1980, 23: 85~91
5. 鲍士旦, 史瑞和. 土壤钾素供应状况的研究. I. 南京农学院学报, 1982, (1): 59~66
6. 鲍士旦, 史瑞和. 土壤钾素供应状况的研究. II. 南京农学院学报, 1984, (4): 70~78
7. 谢建昌, 罗家贤, 马茂桐等. 我国主要土壤供钾潜力的初步研究. 孙羲主编. 土壤养分、植物营养与施肥 - 中国土壤学会农业化学专业会议论文选集. 北京: 农业出版社, 1983, 66~77
8. 杨振明, 王 波, 鲍士旦等. 耗竭条件下冬小麦的吸钾特点及其对土壤不同形态钾的利用. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 43~49
9. 徐国华, 鲍士旦, 史瑞和. 生物耗竭土壤的层间钾自然释放及固钾特性. 土壤, 1995, 27(4): 182~185
10. 史建文, 鲍士旦, 史瑞和. 耗竭条件下层间钾的释放及耗竭后土壤的固钾特性. 土壤学报, 1994, 31(1): 42~49
11. 徐国华, 鲍士旦, 史瑞和. 土壤钾素供应状况的研究 IV. 禾谷类及豆类作物对土壤层间钾的利用. 南京农业大学学报, 1991, 14(2): 47~52
12. 史建文, 鲍士旦, 史瑞和. 不同水稻和大麦品种对土壤层间钾的利用. 南京农业大学学报, 1992, 15(1): 65~70
13. 封 克, 殷士学, 张山泉. 矿物钾在作物营养中的意义. 土壤通报, 1992, 23(2): 58~60
14. 何天秀, 何成辉. 四川主要土壤供钾能力与作物缺钾研究. 土壤通报, 1990 21(1): 7~9, 26
15. 北京农业大学主编. 农业化学总论. 北京: 农业出版社, 1991, 152~153
16. 苏国栋, 葛旦之, 吴兴华等. 湖区稻田土壤耗钾栽培试验初报. 湖南农学院学报, 1984, (3): 35~42
17. 廖先苓, 俞金洲, 许绣云. 水稻对土壤缓效钾的利用. 土壤, 1983, 15(4): 137~139
18. R.D. 芒森主编. 农业中的钾 (范钦桢, 郑文钦等译). 北京: 科学出版社, 1995. 3, 131~273
19. 鲍士旦. 稻麦钾素营养诊断和钾肥施用. 土壤, 1990, 22(4): 184~189
20. 戴自强, 李明德. 旱地土壤有效钾测定方法的研究. 土壤学报, 1997, 34(3): 336~343

## COMPREHENSIVE EVALUATION ON POTASSIUM SUPPLYING POTENTIAL OF MAIN SOILS IN CHINA

Yang Zhen-ming

*(Department of Agronomy, Changchun University of Agriculture and Animal Science, Changchun 130062)*

Zhou Wen-zuo Bao Shi-dan Shi Rui-he

*(College of Natural Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)*

### Summary

The K supplying potential of 11 main soils in China was evaluated comprehensively with pot experiment of bio-depletion of soil potassium and chemical methods. Results were summarized as follows:

The stage of the minimum value appearance and amount of soil exchangeable K varied with soil type after soil potassium depletion. The soil exchangeable K also has "utilization ratio" or "availability degree". Its minimum value is one of the important characteristics of soil K supplying potential. As reaching the minimum value the non-exchangeable K increases again with the increase of the potassium depletion time, and finally, approaches or overtakes a level of pre-depletion. The results were suggested that potassium which could not be extracted by boiling in 1 mol/L HNO<sub>3</sub> was released largely and absorbed by plants mainly. It would not be mineral K but nonexchangeable K.

The closest correlation between the soil available K extracted by cold 2mol/L HNO<sub>3</sub> and the content of K absorbed by plants was revealed by all of the test methods. The procedure of this method is simple and easy to operate. It is applicable to test soil K of upland and paddy field. The K supplying potential of 11 main soils of China were classified preliminary based on the content of soil available K and its minimum value.

**Key words** Bio-depletion, K supplying power, Available K, Potassium minimum value