

# 北方主要土壤钾形态及其植物有效性研究<sup>①</sup>

黄绍文 金继运 王泽良 程明芳

(中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081)

**摘要** 从北方12个省(市、自治区)选取了25个有代表性的土壤样品,将土壤中的钾按其存在形态分为水溶性钾、非特殊吸附钾、特殊吸附钾、非交换性钾和矿物钾。前三种形态钾的总和不超过全钾的2.0%,非交换性钾也仅占全钾的2.7%~9.4%,而全钾的89.8%~96.8%是以矿物态存在的。根据土壤中各形态钾含量,特别是非交换性钾含量分析,可以看出供试25个土壤的供钾能力按取土地点自西向东(西北—华北—东北)有明显降低的趋势。

在连续耗竭情况下,不同土壤的植物净吸钾总量的差异十分悬殊,范围为96.3~793.5mg/pot。根据植物净吸钾总量的大小,将供试土壤的供钾能力分为极高、高、中、较低和低5个等级。其结果也表明供试土壤供钾能力按取土地点自西向东呈明显降低的趋势。

耗竭条件下植物吸取来自土壤不同形态钾的比例相差很大。来自水溶性钾的比例为最小,平均为3.1%;其次是非特殊吸附钾,平均为7.7%;再次是特殊吸附钾,平均为10.2%;来自非交换性钾的比例较大,平均为33.3%;来自矿物钾的比例最大,平均为45.7%。本研究区分了非交换性钾和矿物钾对植物吸收钾素的贡献,发现在耗竭条件下矿物钾是植物的重要钾源。

**关键词** 土壤 钾形态 植物有效性 供钾能力

土壤钾的存在形态、分布规律及其植物有效性是决定其供钾能力的重要因素。本世纪40年代以来,国外对土壤钾的形态及其植物有效性作了大量研究,我国该方面的研究主要在80年代以后且大多集中在南方土壤,有关北方土壤钾的形态及其植物有效性研究工作开展较少<sup>[1]</sup>。鉴于北方土壤的成土条件与南方有很大的不同,钾在土壤中的表现有其特殊性;并且近几年来北方地区土壤缺钾和作物施钾增产的报道逐渐增多,部分地区土壤缺钾已日渐成为限制农业生产进一步发展的重要因子<sup>[2]</sup>。为此,对我国北方主要土壤钾的存在形态、分布规律及其植物有效性进行了深入系统的研究,为进一步综合评价我国北方土壤的供钾能力提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土样

供试的25个耕层(0~20cm)土样于1993年采自北方12个省(市、自治区)有代表性的主要土壤类型,其基本性质见表1。其中土壤有机质用丘林法测定;全氮用开氏法测定;速效磷用0.5mol/L NaHCO<sub>3</sub>溶液浸提,钼锑抗比色法测定;土壤速效钾用1mol/L NH<sub>4</sub>OAc溶液浸提,土壤缓效钾用1mol/L HNO<sub>3</sub>消煮10分钟浸提,全钾用HF+HClO<sub>4</sub>消煮法浸提,浸提液中含钾量用原子吸收分光光度计测定;pH用1:1水土比,pH计测定;阳离子交换量(CEC)用草酸铵+氯化铵交换法测定;土壤颗粒分析用吸管法测定;粘土矿物用X-衍射分析。

### 1.2 土壤钾的分级方法

土壤中的钾按其存在形态分为水溶性钾(指土壤溶液中的钾,用蒸馏水浸提;水土比1:10,25℃恒温振荡30分钟,非特殊吸附钾和特殊吸附钾的土液比和浸提的温度和时间与此相同)、非特殊吸附钾(指土壤胶体表面吸

<sup>①</sup> 国家自然科学基金资助项目,在农业部植物营养学重点开放实验室完成。

收稿日期 1997-05-20

附的能被钙、镁等离子所交换的钾,用0.5mol/L  $Mg(OAc)_2$ 浸提钾(减去水溶性钾)、特殊吸附钾(指2:1型粘土矿物楔形位上特殊吸附,不能被钙、镁等离子所交换,但却能被铵离子所交换或通过水分子之间形成的氢键进行的电子传递过程而释放的钾,用中性1mol/L  $NH_4OAc$ 浸提钾(减去醋酸镁浸提钾)、非交换性钾(指存在于土壤矿物中,不能被其它离子交换,但在强酸条件下能分解释放的钾,用1mol/L  $HNO_3$ 消煮的钾(减去醋酸铵浸提钾)和矿物态钾(指存在于土壤矿物中难以释放的那部分钾,用全钾减去硝酸消煮钾)。

### 1.3 生物耗竭试验

利用从美国国际农化服务中心引进的土壤养分状况系统研究的设备和技术,分析土壤中11种元素的速效养分含量,以此确定除钾元素外的其他营养元素的适宜用量。盆栽试验用塑料盆,盆底钻有4mm小孔,长度约12cm的过滤咀插入塑料盆的底孔(利用过滤咀很强的毛细作用供应盆栽植物的水分),每盆装过3mm筛的风干土500g,用长、宽、高为100cm、30cm、12cm的塑料槽为植物的水分供应装置。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,全部土样过3mm筛,连同根部计算生物产量,测定植株含钾量(用0.5mol/LHCl浸提,原子吸收分光光度计测定);最后一茬收获后,还测定土壤各形态钾含量等。试验重复4次。本试验各种养分的加入量如下:

氮:供水中含N 105mg/L水;磷:第一茬,河南漯河潮土和天津水高庄潮土加入P 22.5mg/kg,其它土壤加45.0mg/kg;从第二茬起,各土壤均加45.0mg/kg;硫:第一茬,辽宁苏家屯水稻土、河北栾城褐土、山东淄博褐土、天津水高庄潮土、天津张窝潮土、宁夏银川灌淤土不施硫,黑龙江双城黑土、辽宁农科院草甸土、辽宁法库棕壤、河北辛集潮土、山东临沂棕壤、山西临汾褐土、新疆泽普田灌淤土施S 15.0mg/kg,其它土壤施30.0mg/kg;从第二茬起,各土壤均施30.0mg/kg;微量元素(不含Fe):每升供水中加入1mL阿农营养液<sup>[8]</sup>;铁:各土壤每茬均加入Fe(柠檬酸铁)20mg/kg。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤钾素状况及其评价

2.1.1 土壤不同形态钾含量概况 表2表明,供试25个土壤不同形态钾的含量,以水溶性钾的含量最低,范围为11.2~67.0mg/kg,平均27.2mg/kg,占全钾量的0.07%~0.35%,平均0.14%;其次是非特殊吸附钾,范围为26.6~92.0mg/kg,平均为49.4mg/kg,占全钾量的0.15%~0.45%,平均0.25%;再次是特殊吸附钾,范围为37.5~183.5mg/kg,平均为81.6mg/kg,占全钾量的0.18%~0.92%,平均0.42%。此三者之和不超过全钾量的2.0%。土壤非交换性钾的含量范围为576.5~1805.5mg/kg,平均为982.7mg/kg,占全钾量的2.67%~9.35%,平均5.00%。土壤矿物钾是土壤钾素的主要组分,含量范围为1.53%~2.18%,平均为1.85%,占全钾量的89.8%~96.8%,平均94.19%。

2.1.2 不同土壤中各形态钾的含量 不同土壤中各形态钾的含量差异也很大。取自不同地区的土壤的水溶性钾和非交换性钾含量显示出明显的地带性分布规律(表2)。

表2还表明,取自不同地区的土壤的水溶性钾和非交换性钾含量自西向东均呈降低的趋势。土壤水溶性钾含量,取自西北的土壤较取自华北和东北的土壤平均分别高24.1mg/kg和26.6mg/kg;土壤非交换性钾含量,取自西北的土壤较取自华北和东北的土壤平均依次高345.3mg/kg和569.4mg/kg。这与土壤中云母类矿物含量和土壤的淋溶及风化作用强弱有密切关系。自西向东,土壤中云母类矿物含量渐少,土壤的淋溶及风化作用渐强<sup>[4,5]</sup>。由表1可看出,土壤中云母类矿物含量以取自西北的较多,而取自华北和东北的土壤相对较少。因此,土壤水溶性钾和非交换性钾含量自西向东有减少的趋势。

土壤特殊吸附钾含量,取自东北的土壤较高,而取自西北和华北的土壤较低,平均分别较取自东北的土壤低20.7mg/kg和19.7mg/kg。这与东北地区的气候和成土条件有关。东北地区土

表1 供试土壤的基本性质  
Table 1 Basic properties of the soils tested

土壤来源和类型 Soil location and type	有机质 O.M. (%)	pH	CEC (cmol/kg)	全氮 Total N (N%)	速效磷 Avail. P (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	速效钾 Avail. K (mg K/kg)	缓效钾 Slowly avail. K (mg K/kg)	全钾 Total K (%)	土壤质地 Texture	主要粘土矿物 Main clay mineral
新疆昌吉灰漠土	1.81	8.8	15.45	0.0969	23.4	223.5	809.0	2.15	砂质粘壤土	云母>高岭石>蛭石>石英
新疆泽普田灌淤土	1.13	9.1	7.88	0.0714	37.8	172.0	1805.5	1.93	砂质壤土	云母>蛭石>绿泥石>石英
青海乐都栗钙土	1.16	9.1	8.72	0.0698	37.0	152.5	1700.0	2.00	砂质壤土	云母>绿泥石>石英>高岭石>石英
青海农科院栗钙土	1.89	8.7	13.77	0.0961	90.4	184.0	1486.0	2.00	粘壤土	云母>绿泥石>石英>蛭石
甘肃兰州灌淤土	1.92	8.7	14.30	0.1080	39.4	187.5	1162.5	1.95	粘壤土	云母>蒙脱石>绿泥石>石英>蛭石
宁夏银川灌淤土	1.21	8.9	10.82	0.0849	31.8	124.5	920.5	2.00	粘壤土	云母>高岭石>石英>绿泥石>蛭石
陕西杨陵姜土	1.17	8.8	16.18	0.0869	7.3	172.0	1238.0	2.08	壤质粘土	云母>绿泥石>石英
山西临汾褐土	1.35	8.9	14.82	0.0746	24.8	145.0	1050.0	1.80	粘壤土	云母>蒙脱石>绿泥石>石英
河北荣城褐土	1.29	9.0	13.77	0.0881	13.7	97.0	910.5	1.80	砂质粘壤土	云母>高岭石>石英>绿泥石
河北辛集潮土	1.66	8.8	15.24	0.0993	19.1	102.5	895.0	1.80	砂质粘壤土	蛭石>云母>绿泥石>石英>高岭石
天津水高庄潮土	2.98	8.6	15.24	0.1660	234.0	232.0	948.0	1.90	壤质粘土	蒙脱石>云母>绿泥石>石英
天津张窝潮土	2.11	8.9	5.57	0.1090	51.8	168.5	1016.5	1.98	壤质粘土	云母>绿泥石>蛭石>高岭石>石英
河南漯河褐土	1.79	8.2	15.66	0.1470	44.4	122.5	1070.0	2.00	粘壤土	云母>蛭石>蒙脱石>高岭石>石英
河南洛阳褐土	1.44	8.7	15.55	0.0849	18.6	135.5	1034.5	1.95	粘壤土	云母>蒙脱石>绿泥石>石英
河南驻马店砂姜黑土	1.34	7.1	22.60	0.1000	14.1	121.0	576.5	1.60	壤质粘土	蒙脱石>高岭石>云母>石英
山东淄博褐土	1.29	8.5	15.87	0.0853	11.2	196.0	1191.5	2.00	粘壤土	蛭石>云母>高岭石>石英
山东临沂棕壤	1.73	8.4	19.23	0.1080	35.8	107.5	885.0	2.18	粘壤土	蒙脱石>云母>高岭石>石英
辽宁农科院草甸土	1.67	6.2	14.61	0.0669	56.4	87.5	767.5	2.05	砂质粘壤土	云母>石英>高岭石>蛭石
辽宁法库棕壤	1.51	6.2	14.50	0.0937	46.8	115.0	600.0	2.25	砂质粘壤土	云母>高岭石>石英>蛭石
辽宁苏家屯水稻土	2.99	5.3	23.44	0.1590	39.0	141.0	669.0	1.93	粉(砂)质粘土	云母>高岭石>石英>蛭石
吉林刘家子黑土	2.22	6.7	21.60	0.1260	101.2	138.5	779.0	2.00	粘壤土	蛭石>云母>高岭石>石英
吉林陶家黑土	2.65	6.6	28.27	0.1400	71.6	154.5	655.5	1.98	壤质粘土	云母>石英>高岭石>蒙脱石
黑龙江红兴隆草甸土	3.51	6.5	28.48	0.1540	57.0	298.5	999.0	2.00	壤质粘土	云母>高岭石>蛭石>石英
黑龙江赵州黑钙土	3.74	8.5	24.28	0.2230	77.6	210.0	757.5	1.98	砂质粘壤土	蒙脱石>云母>蛭石>高岭石>石英
黑龙江双城黑土	3.00	8.5	26.38	0.1920	37.0	168.0	642.0	1.90	砂质壤土	蒙脱石>云母>绿泥石>石英

表2 供试土壤的各形态钾及全钾含量  
Table 2 Total K and its distribution in various forms

土壤来源和类型 Soil location and type	水溶性钾 Water soluble K		非特异性吸附钾 Non-specifically absorbed K		特异性吸附钾 Specifically absorbed K		非交换性钾 Non-exchangeable K		矿物钾 Mineral K		全钾 Total K
	mg K/kg	占全钾的百分数 % of total K	mg K/kg	占全钾的百分数 % of total K	mg K/kg	占全钾的百分数 % of total K	mg K/kg	占全钾的百分数 % of total K	K%	占全钾的百分数 % of total K	
新疆昌吉灰漠土	53.5	0.25	92.0	0.43	78.0	0.36	809.0	3.76	2.05	95.20	2.15
新疆泽普田灌淤土	67.0	0.35	43.0	0.22	62.0	0.32	1805.5	9.35	1.73	89.75	1.93
青海乐都栗钙土	57.5	0.29	43.0	0.22	52.0	0.26	1700.0	8.50	1.81	90.74	2.00
青海农科院栗钙土	44.5	0.22	51.5	0.26	88.0	0.44	1486.0	7.43	1.83	91.65	2.00
甘肃兰州灌淤土	36.5	0.19	62.0	0.32	89.0	0.46	1162.5	5.96	1.82	93.08	1.95
宁夏银川灌淤土	33.0	0.17	33.5	0.17	58.0	0.29	920.5	4.60	1.90	94.78	2.00
陕西杨凌淤土	26.0	0.13	51.0	0.25	95.0	0.46	1238.0	5.95	1.94	93.22	2.08
西北土壤平均	45.4	0.23	53.7	0.26	74.6	0.37	1303.1	6.51	1.87	92.63	2.02
山西临汾褐土	33.0	0.18	41.0	0.23	71.0	0.39	1050.0	5.83	1.68	93.36	1.80
河北荣城褐土	18.4	0.10	26.6	0.15	52.0	0.29	910.5	5.06	1.70	94.40	1.80
河北辛集潮土	15.6	0.09	35.9	0.20	51.0	0.28	895.0	4.97	1.70	94.46	1.80
天津水高庄潮土	23.0	0.12	69.5	0.37	139.5	0.73	948.0	4.99	1.78	93.79	1.90
天津张窝潮土	19.5	0.10	56.5	0.29	92.5	0.47	1016.5	5.13	1.86	94.02	1.98
河南濮阳褐土	20.5	0.10	43.5	0.22	58.5	0.29	1070.0	5.35	1.88	94.04	2.00
河南洛阳褐土	22.5	0.12	49.0	0.25	64.0	0.33	1034.5	5.31	1.83	94.00	1.95
河南驻马店砂姜黑土	11.2	0.07	38.3	0.24	71.5	0.45	576.5	3.60	1.53	95.64	1.60
山东濰县褐土	29.5	0.15	66.0	0.33	100.5	0.50	1191.5	5.96	1.86	93.06	2.00
山东临沂棕壤	19.4	0.09	32.6	0.15	55.5	0.25	885.0	4.06	2.08	95.45	2.18
华北土壤平均	21.3	0.11	45.9	0.24	75.6	0.40	967.8	5.03	1.79	94.22	1.90
辽宁农科院草甸土	16.2	0.08	33.8	0.16	37.5	0.18	767.5	3.74	1.96	95.83	2.05
辽宁法库棕壤	17.9	0.08	44.1	0.20	53.0	0.24	600.0	2.67	2.18	96.82	2.25
辽宁苏家屯水稻土	16.3	0.08	41.7	0.22	83.0	0.43	669.0	3.47	1.85	95.80	1.93
吉林伊通黑土	18.6	0.09	38.9	0.19	81.0	0.41	779.0	3.90	1.91	95.41	2.00
吉林陶家黑土	18.2	0.09	37.8	0.19	98.5	0.50	655.5	3.3	1.90	95.91	1.98
黑龙江兴凯草甸土	25.5	0.13	89.5	0.45	183.5	0.92	999.0	5.00	1.87	93.51	2.00
黑龙江赵州黑钙土	23.0	0.12	66.0	0.33	121.0	0.61	757.5	3.83	1.8	95.11	1.98
黑龙江双城黑土	14.4	0.08	49.1	0.26	104.5	0.55	642.0	3.38	1.82	95.74	1.90
东北土壤平均	18.8	0.09	50.1	0.25	95.3	0.48	733.7	3.66	1.92	95.52	2.10
所有供试土壤平均	27.2	0.14	49.4	0.25	81.6	0.42	987.7	5.00	1.85	94.19	1.97

表3 植物净吸钾总量和土壤不同形态钾的贡献  
Table 3 The amount of plant total net K uptake and the contributions of various forms of native K to plant uptake

土壤来源和类型 Soil location and type	净吸钾总量 The amount of total net K uptake (mg K/pot)		水溶性钾 Water soluble K		非特异性吸附钾 Non-specifically absorbed K		特异性吸附钾 Specifically absorbed K		非交换性钾 Non-exchangeable K		矿物钾 Mineral K	
	mg K/kg	%	mg K/kg	%	mg K/kg	%	mg K/kg	%	mg K/kg	%	mg K/kg	%
新疆昌吉灰漠土	494.1		40.6	4.1	72.4	7.3	46.5	4.7	333.0	33.7	495.6	50.2
新疆泽普田灌淤土	793.5		53.4	3.4	31.1	2.0	36.0	2.3	1079.5	68.0	386.9	24.4
青海乐都栗钙土	397.9		49.3	6.2	24.2	3.0	9.0	1.1	675.0	84.8	38.3	4.8
青海农科院栗钙土	349.4		34.9	5.0	34.6	5.0	41.0	5.9	487.0	69.7	101.3	14.5
甘肃兰州灌淤土	323.3		21.1	3.3	43.4	6.7	45.0	7.0	288.0	44.5	249.0	38.5
宁夏银川灌淤土	310.3		21.8	3.5	14.7	2.4	25.0	4.0	278.5	44.9	280.5	45.2
陕西杨凌淤土	310.9		16.3	2.6	21.2	3.4	34.5	5.5	195.5	31.4	354.3	57.0
西北土壤平均	425.6		33.9	4.0	34.5	4.3	33.9	4.4	476.6	53.9	272.3	33.4
山西临汾褐土	253.5		21.1	4.2	18.4	3.6	20.5	4.0	192.5	38.0	254.5	50.2
河北承德褐土	146.9		8.4	2.9	2.6	0.9	12.0	4.1	117.0	39.8	153.8	52.4
河北辛集潮土	171.5		4.0	1.2	13.5	3.9	15.0	4.4	110.0	32.1	200.5	58.5
天津水高庄潮土	339.0		13.9	2.1	32.6	4.8	66.2	9.8	104.5	15.4	460.4	67.9
天津张湾潮土	176.6		9.6	2.7	20.4	5.8	31.5	8.9	101.0	28.6	190.8	54.0
河南漯河褐土	331.2		9.8	1.5	31.2	4.7	36.5	5.5	272.5	41.1	312.4	47.2
河南洛阳褐土	317.9		12.6	2.0	20.9	3.3	17.0	2.7	184.5	29.0	400.8	63.0
河南驻马店砂姜黑土	143.1		5.9	2.1	27.6	9.6	40.5	14.2	41.0	14.3	171.2	59.8
山东淄博褐土	280.6		16.7	3.0	39.3	7.0	33.0	5.9	176.0	31.4	296.1	52.8
山东临沂棕壤	236.0		4.7	1.0	16.8	3.6	16.0	3.4	177.5	37.6	256.9	54.4
华北土壤平均	239.6		10.7	2.2	22.3	4.7	28.9	6.3	147.7	30.7	269.8	56.0
辽宁农科院草甸土	99.3		7.3	3.7	31.7	16.0	22.5	11.3	76.0	38.3	61.1	30.7
辽宁法库棕壤	105.9		7.6	3.6	43.4	20.5	37.0	17.5	64.5	30.5	59.3	27.9
辽宁赤家屯水稻土	96.3		6.8	3.5	39.7	20.6	59.5	30.9	26.5	13.8	60.1	31.2
吉林刘房子黑土	131.9		10.0	3.8	36.5	13.8	55.0	20.9	53.5	20.3	108.7	41.2
吉林陶家黑土	126.4		8.5	3.4	37.0	14.6	75.0	29.7	22.0	8.7	110.3	43.6
黑龙江红星隆草甸土	277.6		20.6	3.7	85.4	15.4	149.5	26.9	24.5	4.4	275.3	49.6
黑龙江赵州黑钙土	230.6		17.5	3.8	39.0	8.5	55.5	12.0	98.0	21.2	251.2	54.5
黑龙江双城黑土	172.1		9.3	2.7	22.2	6.4	41.5	12.1	39.5	11.5	231.8	67.3
东北土壤平均	155.0		11.0	3.5	41.9	14.5	61.9	20.2	50.6	18.6	144.7	43.3
所有供试土壤平均	264.6		17.3	3.1	32.0	7.7	40.8	10.2	208.7	33.3	230.5	45.7

壤的淋溶和风化作用相对较强,土壤中的含钾矿物在风化过程中可能形成较多的对钾有特殊吸附作用的“楔形带”,因而土壤“楔形带钾”即土壤特殊吸附钾含量较高。

取自不同地区的土壤的非特殊吸附钾和矿物钾含量,地区间差异不明显。

取自同一地区的土壤,即使土壤类型相同,土壤不同形态钾含量也有较大差异,如天津水高庄潮土的水溶性钾、非特殊吸附钾和特殊吸附钾含量分别比同地区天津张窝潮土高3.5mg/kg、13.0mg/kg和47.0mg/kg,而非交换性钾和矿物钾含量分别低68.5mg/kg和0.08%。这可能与施肥和农作状况有关。

**2.1.3 土壤供钾能力初步评价** 根据土壤中各形态钾含量,特别是非交换性钾含量分析,取自不同地区的土壤的长期供钾能力(供钾潜力)按取土地区自西向东有明显降低的趋势(表2),即取自西北的土壤的供钾能力高,取自华北的土壤的供钾能力中等,取自东北的土壤的供钾能力低。但应指出的是,取自西北的土壤,也有供钾能力中等的土壤,如宁夏银川灌淤土,其非交换性钾含量中等(920.5mg/kg),水溶性钾、非特殊吸附钾和特殊吸附钾含量三者之和也只有124.5mg/kg,因此可以初步认为其供钾能力中等;而同地区的新疆昌吉灰漠土,非交换性钾虽属中等(809.0mg/kg),但水溶性钾、非特殊吸附钾和特殊吸附钾含量均较高,三者之和达223.5mg/kg,其供钾能力较高。取自华北的土壤,既有供钾能力高的土壤,也有供钾能力低的土壤,如天津水高庄潮土,非交换性钾中等(948.0mg/kg),但非特殊吸附钾和特殊吸附钾含量高,水溶性钾、非特殊吸附钾和特殊吸附钾三者之和达232.0mg/kg,其供钾能力较高;而同地区的河南驻马店砂姜黑土,非交换性钾含量是25个供试土壤中最底的,其水溶性钾、非特殊吸附钾和特殊吸附钾含量均低,因此其供钾能力低。取自东北的土壤,也有供钾能力中等或较高的土壤,如黑龙江红兴隆草甸土,非交换性钾含量中等(999.0mg/kg),水溶性钾含量中,非特殊吸附钾和特殊吸附钾含量高,水溶性钾、非特殊吸附钾和特殊吸附钾含量三者之和达299.0mg/kg,是供试土壤中速效钾含量最高的,因此其供钾能力中等或较高。

尽管取自同一地区的土壤的供钾能力虽有不同,但是供试25个土壤的供钾能力按取土地区仍存在着自西向东渐减的趋势。

## 2.2 土壤钾的植物吸收及各形态钾的有效性

**2.2.1 耗竭过程中不同土壤上植物净吸钾总量** 在生物试验中,用25个土壤在不施钾情况下连续种植玉米幼苗,分析玉米幼苗从不同土壤中吸收的净吸钾总量(植物吸钾总量减去种子带人的钾量),以评价土壤供钾能力。

研究结果表明,在连续耗竭状态下,玉米在供试25个土壤上净吸钾总量的差异是很悬殊的(表3)。净吸钾总量(K)的范围为96.3~793.5mg/pot,以新疆泽普田灌淤土的最高(793.5mg/pot);新疆昌吉灰漠土、青海乐都栗钙土、青海农科院栗钙土、甘肃兰州灌淤土、宁夏银川灌淤土、陕西杨陵垆土、天津水高庄潮土、河南漯河潮土和河南洛阳褐土的净吸钾总量高(310.3~494.1mg/pot);山西临汾褐土、山东淄博褐土、山东临沂棕壤、黑龙江红兴隆草甸土和黑龙江赵州黑钙土的净吸钾总量中等(230.6~280.6mg/pot);河北栾城褐土、河北辛集潮土、天津张窝潮土、河南驻马店砂姜黑土和黑龙江双城黑土的净吸钾总量较低(143.1~176.6mg/pot);辽宁农科院草甸土、辽宁法库棕壤、辽宁苏家屯水稻土、吉林刘房子黑土和吉林陶家黑土的净吸钾总量低(96.3~131.9mg/pot)。上述按植物净吸钾总量大小所分等级,反映了土壤供钾能力的高低,因为植物净吸钾总量的大小是反映土壤供钾能力的一个尺度<sup>[6]</sup>。

从取土的地理位置看(表3),取自西北的土壤的植物净吸钾总量是供试25个土壤中最高和

高的,平均净吸钾总量为425.6mg/pot,较取自华北和东北的土壤的平均净吸钾总量分别高186.0mg/pot和270.6mg/pot。这进一步表明取自西北的土壤的供钾能力高,与土壤钾素状况分析结果是一致的。

取自华北的土壤的植物净吸钾总量,有3个土壤是高的,3个土壤是中等的,还有4个土壤是较低的,平均239.6mg/pot,比取自东北的土壤的平均净吸钾总量高84.6mg/pot。表明取自华北的土壤的供钾能力在取自西北、华北和东北三个区的土壤中是属中等水平。

取自东北的土壤的植物净吸钾总量,有2个土壤是中等的,1个土壤是较低的,5个土壤是低的,即取自东北的大部分土壤的植物净吸钾总量是低或较低的,平均只有155.0mg/pot,是取自华北的土壤的64.7%,仅为取自西北的土壤的36.4%。可见,取自东北的土壤的供钾能力一般是低的,与土壤钾素状况分析结果是一致的。

**2.2.2 耗竭过程中土壤不同形态钾的贡献** 为了说明土壤中不同形态钾对植物吸收钾素的贡献及进一步评价土壤供钾能力,分析了植物净吸钾总量中来自不同形态钾的量和比例。植物净吸钾总量中来自水溶性钾、非特殊吸附钾、特殊吸附钾和非交换性钾的量分别为种植前和种植后土壤中该形态钾的降低量;来自矿物态钾的量为植物净吸钾总量减去吸自水溶性钾、非特殊吸附钾、特殊吸附钾和非交换性钾的量。

从表3可以看到,温室耗竭条件下植物吸取来自土壤不同形态钾的量和比例相差很大。以吸自水溶性钾的量和比例最小,其次是非特殊吸附钾,再次是特殊吸附钾。吸自这三种形态的总量,25个土壤平均为90.1mg/kg,占吸钾总量的比例平均为21.0%。吸自非交换性钾的量较大,平均为208.7mg/kg,占吸钾总量的比例平均为33.3%。吸自矿物钾的量最大,平均为230.5mg/kg,占吸钾总量的比例平均为45.7%。表明在耗竭条件下,土壤中矿物态钾有相当部分可以被植物吸收利用。

不同土壤中各形态钾对植物吸收钾素的贡献亦有较大差异(表3)。在连续耗竭状态下,取自西北的土壤与取自东北的土壤比较,植物吸自水溶性钾、非特殊吸附钾和特殊吸附钾的比例相对较小,三者之和为12.7%,较取自东北的土壤少了25.5个百分点;而吸自非交换性钾和矿物钾的比例相对较大,二者之和为87.3%,取自东北的土壤只有61.9%。这种差异与土壤供钾水平和不同形态钾含量有关。取自西北的土壤,其水溶性钾、非特殊吸附钾和特殊吸附钾三者之和即速效钾含量虽然较高,但土壤非交换性钾含量高,土壤钾有丰富的储备;而且西北地区土壤风化淋溶相对较弱,非交换性钾相对较易释放,当速效钾含量降低时,非交换性钾缓慢释放补充速效钾的消耗,等到非交换性钾降低到一定程度时,矿物钾亦可更缓慢地释放补充非交换性钾的消耗。因此,在耗竭条件下,非交换性钾和矿物钾是植物的主要钾源。而取自东北的土壤的风化淋溶作用相对较强,非交换性钾含量相对较低,释放缓慢,当土壤中速效钾由于植物吸收而耗竭时,非交换性钾和矿物钾的释放难以进行有效的补充。因此,非交换性钾和矿物钾的贡献相对较小,而速效钾的贡献在吸钾总量中占有较大比例。

取自华北的土壤(供钾状况中等)与取自西北的土壤(供钾状况好)比较,速效钾贡献相近,但矿物钾的贡献相对较高,非交换性钾的贡献相对较低。这与取自华北的土壤的非交换性钾含量明显低于取自西北的土壤有关。

在连续耗竭状态下,除土壤供钾能力最低的辽宁苏家屯水稻土外(植物净吸钾总量最低,只有96.3mg/pot),其余24个土壤的非交换性钾和矿物钾都是植物吸收钾素的主要来源。其中取自西北和华北的土壤(17个)的非交换性钾和矿物钾的贡献达74.2%~92.4%,而取自东北的土

壤(8个)的贡献为45.0%~78.8%。

许多研究者曾经报道,在盆栽耗竭与大田栽培的条件下,植物吸钾量的大部分来自非交换性钾<sup>[6]</sup>。在本研究进行的耗竭试验中,玉米的吸钾量也有相当部分来自非交换性钾,但同时区分了非交换性钾和矿物钾的贡献,并指出了矿物钾的钾营养贡献显著。

在已往的众多研究中,非交换性钾的贡献是按植物吸钾总量中去除种植前和种植后速效钾下降部分的量所得,实际上包括了矿物钾的贡献。因此,长期以来对矿物钾在连续种植过程中的贡献未能进行详尽的研究和予以充分的重视。但是,矿物钾在一定条件下是可以对植物吸钾作出较大贡献的。一般把用1mol/L热硝酸1次(煮沸10分钟)提取的钾减去1mol/L中性醋酸铵提取钾的差值定义为非交换性钾(即缓效钾),而把1mol/L热硝酸1次不能提取的钾定义为矿物钾。据报道<sup>[5,8,9]</sup>,1mol/L热硝酸可提取的钾是随提取次数的增多而不断增加的,只是不同矿物所释放出的总量不同而已。对含2:1型粘土矿物较多的土壤在第1、2次提取后,非交换性钾会迅速下降,以后则保持一个稳定值。经多次连续提取后,X射线和电子显微镜观察表明,黑云母矿物晶体已受到严重破坏,白云母的1nm峰也有所下降,只是长石变化不大。可见,矿物钾在一定条件下是可以缓慢释放的,特别是当非交换性钾下降至一定程度后矿物钾的释放将更为明显。因此矿物钾在一定条件下(如连续种植、高吸钾品种等)对植物吸钾是可作出较大贡献的。

关于矿物钾在植物营养中的贡献的研究,国内已有少量的报道。一些研究结果认为,耗竭吸收条件下不同土壤矿物钾对黑麦草吸钾总量的贡献达18%~67%<sup>[7]</sup>。在连续种植条件下,水稻吸钾总量的89.6%,大麦吸钾总量的73.2%来自1mol/L硝酸1次不能提取的那部分层间钾(指矿物钾)<sup>[10,11]</sup>。本研究结果也表明,不施钾情况下连续种植玉米幼苗,供试25个土壤矿物钾对玉米幼苗净吸钾总量的贡献平均为45.7%,高于非交换性钾的贡献(平均33.3%)。取自华北的土壤(供钾状况中等),其矿物钾的贡献最大;其次是取自东北的土壤(供钾状况差);取自西北的土壤(供钾状况好),其矿物钾贡献相对小一些。

### 3 小结

3.1 供试25个土壤的供钾能力按取土地区自西向东(西北—华北—东北)有明显降低的趋势。这一地带性规律为有限的钾肥在北方的合理分配提供了一定的科学依据。钾肥的重点投向地区,首先应考虑东北的缺钾地区,其次考虑华北的缺钾地区。但由于同一地区的土壤的供钾能力也各不相同及本研究所采土样的数量不够多,本研究结果有一定的局限性,还有待于进一步深入探讨。

3.2 耗竭条件下植物吸自土壤不同形态钾的比例相差很大。本研究区分了土壤非交换性钾和矿物钾对植物吸收钾素的贡献,并发现土壤矿物钾对植物吸收钾素有相当重要的贡献。

### 参 考 文 献

- 1 黄绍文等. 土壤钾形态及其植物有效性研究进展. 土壤肥料, 1995, 5: 23~29.
- 2 金继运等. 我国北方土壤缺钾和钾肥应用的发展趋势. 北方土壤钾素和钾肥效益, 中国农业科学院土壤肥料研究所和加拿大钾磷研究所北京办事处编, 中国农业科技出版社, 1994, 1~5.
- 3 西北农学院等. 农业化学研究法. 农业出版社, 1984, 85.
- 4 中国科学院南京土壤所. 中国土壤图集. 地图出版社, 1986.
- 5 熊毅等. 土壤粘土矿物. 中国土壤(第二版), 科学出版社, 1990, 374~389.



- 6 周鸣铮. 土壤钾有效度测定方法研究的进展. 土壤学进展, 1979, 4:39~50.
- 7 王家玉. 土壤非交换性钾的研究. 土壤学进展, 1991, 2:9~17.
- 8 封克等. 矿物钾在作物营养中的意义. 土壤通报, 1992, 23(2):58~60.
- 9 蒋梅茵. 土壤含钾矿物中钾的固定与释放. 土壤通报, 1982, 3:44~49.
- 10 史建文等. 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.
- 11 史建文等. 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.

## NATIVE POTASSIUM FORMS AND PLANT AVAILABILITY IN SELECTED SOILS FROM NORTHERN CHINA

Huang Shaowen Jin Jiyun Wang Zeliang Cheng Mingfang

*(Soil and Fertilizer Institute, CAAS, Beijing 100081)*

**Abstract** Twenty-five representative plow depth soil samples from 12 Provinces, Municipalities and Autonomous regions in major agricultural regions in northern China were selected. Soil native potassium exists in 5 forms, namely water soluble K, non-specifically adsorbed K, specifically adsorbed K, non-exchangeable K and mineral K. Total potassium in the front 3 forms is less than 2.0% of the total soil K. Non-exchangeable K accounts for 2.7%~9.4% of the total soil K, while mineral K accounts for 89.8%~96.8% of the total soil K. According to the content of K in various forms, especially the content of soil non-exchangeable K, it is evident that potassium supplying power of the selected soils shows a general tendency of decrease from west to east regions (northwestern China -- northcentral China -- northeastern China). Soil potassium depletion study was conducted in a pot experiment with successive planting of corn seedling for 8~10 harvests. The 25 tested soils varied considerably in total net K absorption, with a range of 96.3~793.5mg/pot. In accordance with the amount of total net K uptake, potassium supplying power of the tested soils was divided into 5 categories: very high, high, medium, relatively low and low. In general, there was a notable tendency of decrease in soil K supplying power from west to east regions. Under depletion condition and without K application, the contributions of various forms of native K to plant uptake varied significantly in the order: water soluble K (with an average of 3.1%) < non-specifically adsorbed K (average 7.7%) < specifically adsorbed K (average 10.2%) < non-exchangeable K (33.3%) < mineral K (45.7%). In this research, contribution of mineral K was differentiated from non-exchangeable K, and the result indicated that mineral K contributed significantly to K uptake by plants.

**Key words** Soil Potassium forms Plant availability Potassium supplying power