植物营养与肥料学报 2000,6(2):123～132
Plant Nutrition and Fertilizer Science

我国北方土壤-作物系统内钾素循环特征及秸秆还田与施钾肥的影响

刘荣乐，金继运，吴荣贵，梁鸣早
(中国农业科学院土壤肥料研究所,北京 100081)

摘要：在我国北方13个省(市、自治区)的25个点上,进行了5年的钾肥定位试验。结果表明,我国北方土壤全钾含量地区性差异不大,而土壤缓效钾和土壤速效钾含量,西北地区土壤远高于东北和华北地区土壤,华北地区土壤的土壤缓效钾含量又远高于东北地区土壤,而土壤速效钾含量却低于东北地区土壤。在主要种植制下的代表性土壤上,东北、西北和华北地区不同种植制度下的作物吸钾量也存在明显差异。西北地区的作物吸钾量一般较高,华北地区一年两熟制的作物年吸钾量远大于东北地区的一年一熟制。秸秆还田和施钾肥对作物吸钾量有提高作用。在不施钾肥的情况下,土壤钾库长期处在被作物耗用的状态下,土壤速效钾含量逐渐下降,土壤缓效钾含量也有下降的趋势。施钾肥和秸秆还田配施钾肥,均能不同程度地减缓这种下降趋势。

关键词：土壤-作物系统;土壤钾;养分吸收;秸秆还田;钾肥
中图分类号:S158.3;S143.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2000)02-0123-10

土壤钾素是植物钾素养分的重要来源。80年代初的研究表明,我国华北、西北和东北三大农业区中,除了山东半岛的棕壤和东北的草炭土供钾能力较低外,华北和西北的潮土、褐土、塿土、黑垆土等黄土母质发育的土壤和东北地区的黑土、黑钙土含钾丰富,供钾潜力强,西北漠境地区的各类漠土,供钾能力最高[1,2]。但是,随着农业生产的发展,尤其是农作物产量的大幅度提高,氮磷化肥的大量施用和有机肥施用量的减少,致使进入90年代以后,北方地区农业生产中土壤缺钾和施钾增产的报道逐渐增多,农业生产实践中钾肥的施用也逐渐增多。目前针对我国北方种植制度和土壤钾素状况的系统研究报道不多。林葆等于80年代至90年代初,通过在全国的70多个长期田间试验,系统研究了我国不同地区长期施用氮磷钾化肥及有机肥对作物产量和土壤肥力的影响,详细分析了土壤-作物系统的氮磷钾投入-产出平衡及土壤养分的变化[3]。吴刚等在黄淮海平原农林生态系统的一年研究结果发现,在泡桐/小麦-玉米间作和沙兰杨/小麦-玉米间作群落下,土壤钾库中的氮磷钾均发生亏损,钾的亏损量仅次于氮,远高于磷[4,5]。把握当前我国北方土壤自然供钾潜力仍较大这一特点,在农业生产中合理利用钾资源,减少钾素的各损失途径,强化钾素在农业生产系统内部的循环,应是我国北方农业生产中土壤钾素管理和施用钾肥的重要指导思想之一[6]。为此,采用田间定位试验方法,系统研究我国北方农区主要种植制度下土壤-作物系统内钾素循环特征和土壤钾素平衡状况,旨在为农业生产中钾素资源利用与管理提供科学

收稿日期:1999-03-30
作者简介:刘荣乐(1963—),男,中国农科院土肥所副研究员,现为中国农业大学在职博士生,主要从事钾素营养研究。
本项目是中加政府间合作项目:"钾肥农学发展项目(三期)"和加拿大钾磷研究所合作项目的部分研究内容。试验所在地的省(市、自治区)农科院土肥所的合作项目执行人员参与了研究工作。

依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

自 1993 年起,在我国北方山东、河南、河北、天津、辽宁、吉林、黑龙江、山西、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆等 13 个省(市、自治区),针对当地农业生产条件,选择了包括冬小麦-玉米、冬小麦—大豆、玉米、水稻、小麦—大豆、冬小麦、春小麦、小麦—棉花以及一年多季蔬菜的主要代表性种植制度,布置了 25 个定位试验。

定位试验选择在土壤肥力水平有代表性、分布面积大的农业土壤上进行。涉及到的主要土壤类型有:棕壤、褐土(及潮褐土)、潮土、砂姜黑土、草甸土、水稻土、黑土、黑钙土、灌淤土(潮灌淤土)、栗钙土(淡栗钙土)和灌耕灰漠土,基本覆盖了我国北方农区的主要农业土壤类型。各试验点土壤的基本性质见表 1。

1.2 试验设计

定位试验考虑到试验地区农业生产实际中秸秆还田的可能性,采用了两套方案。第一套方案针对包含小麦的种植制度,实行小麦秸秆全部还田,其他作物的秸秆不还田,共设 NP、NPK、NPSt、NPKSt 4 个处理(NPSt 和 NPKSt 中 St 代表小麦秸秆还田);第二套方案无秸秆还田处理,采用 3 个钾肥用量处理,NP、NPK_1 和 NPK_2(表 2)。所有试验处理,均施足氮磷肥和其他肥料以消除除钾和/或秸秆还田以外的其他因素的影响。各试验地点处理小区的面积在 13~50m^2 之间,各小区随机排列,重复 4 次。考虑到对当地生产条件的代表性,定位试验不统一作物品种,而采用当地生产上的主推高产品种。定位试验的田间管理除各小区处理中研究因素的不同外,其他均与当地农业生产相同。

1.3 分析测定项目

在作物收获期间,对每个试验小区单打单收,进行有关的考种,获得各小区的子粒产量和秸秆产量数据。同时采集子粒和秸秆样品,测定它们的含钾量和水分含量,以计算子粒和秸秆的钾吸收量。

在一年两季种植制度下于秋作物收获时,或在一年一季作物收获时,对每一试验小区土壤分 0~20cm 和 20~40cm 土层取土样,分析各土层的速效钾和缓效钾含量,以评价在长期种植条件下不同处理对土壤有效钾和缓效钾含量的影响。

土壤养分分析方法见参考文献[7]。

2 结果与分析

2.1 不同种植制度下土壤-作物系统内的钾素循环特征

2.1.1 土壤钾素资源库特征 土壤钾库是农业生产中土壤-作物系统中最重要的钾养分资源,是土壤-作物系统内钾素循环的物质基础。土壤钾素有几种存在形态,它们的植物有效性差别很大,所以参与土壤-作物系统内钾素循环的程度也有很大不同。土壤钾库容量一般用土壤含钾量、一定土层厚度(例如耕层 0~20cm)和密度来估算一定面积(如 1 公顷)内的钾量来表示。所以,我们可以直接根据土壤含钾量评价不同地区、不同土壤的土壤钾库状况(表 1)。

从土壤全钾看,除河南的砂礓黑土土壤全钾量为 1.6%外,其他土壤的含钾量变幅不大,均在 1.8%以上,平均为 1.97%。可以说,我国北方土壤钾素是比较丰富的。

土壤速效钾含量是反映作物生长季内土壤供钾水平的重要指标之一。根据全国土壤普查办公室的土壤供钾水平等级划分标准,从表 1 可以看出:土壤供钾水平很高和极高的土壤(>150mg/kg)有新疆灌淤土和灰漠土、青海的两种栗钙土、陕西的塿土、甘肃的灌淤土、黑

表 1　供试土壤的基本性质

Table 1　The basic soil properties of the soils for the fixed trials

土壤来源 Trial site	有机质 O.M. (%)	pH	阳离子交换量 CEC (cmol/kg)	全氮 Total N (N, %)	速效磷 Available P (P_2O_5, mg/kg)	速效钾 Readily available K (K, mg/kg)	缓效钾 Slow-release K (K, mg/kg)	全钾 Total K (K, %)	粘粒含量 Clay Content <0.002mm (%)	土壤质地 soil Texture	主要粘土矿物
新疆昌吉	1.81	8.8	15.45	0.0969	23.4	223.5	809.0	2.15	20.4	砂质粘壤土	云母>高岭石>蛭石>石英
新疆泽普	1.13	9.1	7.88	0.0714	37.8	172.0	1805.5	1.93	13.3	砂质壤土	云母>蛭石>绿泥石>石英
青海乐都	1.16	9.1	8.72	0.0698	37.0	152.5	1700.0	2.00	13.7	砂质壤土	云母>绿泥石>石英>高岭石
青海西宁	1.89	8.7	13.77	0.0961	90.4	184.0	1486.0	2.00	21.0	粘壤土	云母>绿泥石>石英>蛭石
甘肃兰州	1.92	8.7	14.30	0.1080	39.4	187.5	1162.5	1.95	22.2	粘壤土	云母>蒙脱石>绿泥石>石英>蛭石
宁夏银川	1.21	8.9	10.82	0.0849	31.8	124.5	920.5	2.00	19.3	粘壤土	云母>高岭石>石英>绿泥石>蛭石
陕西杨陵	1.17	8.8	16.18	0.0869	7.3	172.0	1238.0	2.08	26.7	壤质粘土	云母>绿泥石>石英
山西临汾	1.35	8.9	14.82	0.0746	24.8	145.0	1050.0	1.80	16.3	粘壤土	云母>蒙脱石>绿泥石>石英
河北栾城	1.29	9.0	13.77	0.0881	13.7	97.0	910.5	1.80	18.7	砂质粘壤土	云母>高岭石>石英>绿泥石
河北辛集	1.66	8.8	15.24	0.0993	19.1	102.5	895.0	1.80	18.9	砂质粘壤土	蛭石>云母>绿泥石>石英>高岭石
天津水高庄	2.98	8.6	15.24	0.1660	234.0	232.0	948.0	1.90	34.4	壤质粘土	蒙脱石>云母>绿泥石>石英
天津张窝	2.11	8.9	5.57	0.1090	51.8	168.5	1016.5	1.98	25.9	壤质粘土	云母>绿泥石>蛭石>高岭石>石英
河南漯河	1.79	8.2	15.66	0.1470	44.4	122.5	1070.0	2.00	16.9	粘壤土	云母>蛭石>蒙脱石>高岭石>石英
河南洛阳	1.44	8.7	15.55	0.0849	18.6	135.5	1034.5	1.95	16.2	粘壤土	云母>蒙脱石>绿泥石>石英
河南驻马店	1.34	7.1	22.60	0.1000	14.1	121.0	576.5	1.60	29.6	壤质粘土	蒙脱石>高岭石>云母>石英
山东临淄	1.29	8.5	15.87	0.0853	11.2	196.0	1191.5	2.00	15.9	粘壤土	蛭石>云母>高岭石>石英
山东临沂	1.73	8.4	19.23	0.1080	35.8	107.5	885.0	2.18	20.3	粘壤土	蒙脱石>云母>高岭石>石英
辽宁沈阳	1.67	6.2	14.61	0.0869	56.4	87.5	767.5	2.05	15.3	砂质粘壤土	云母>石英>高岭石>蛭石
辽宁法库	1.51	6.2	14.50	0.0937	46.8	115.0	600.0	2.25	18.5	砂质粘壤土	云母>高岭石>石英>蛭石
辽宁苏家屯	2.99	5.3	23.44	0.1590	39.0	141.0	669.0	1.93	32.2	粉砂质壤土	云母>高岭石>石英>蛭石
吉林刘房子	2.22	6.7	21.60	0.1260	101.2	138.5	779.0	2.00	24.9	粘壤土	蛭石>云母>高岭石>石英
吉林陶家	2.65	6.6	28.27	0.1400	71.6	154.5	655.5	1.98	36.3	壤质粘土	云母>石英>高岭石>蒙脱石
黑龙江红兴隆	3.51	6.5	28.48	0.1540	57.0	298.5	999.0	2.00	43.6	壤质粘土	云母>高岭石>蛭石>石英
黑龙江肇州	3.74	8.5	24.28	0.2230	77.6	210.0	757.5	1.98	23.7	砂质粘壤土	蒙脱石>云母>蛭石>高岭石>石英
黑龙江双城	3.00	8.5	26.38	0.1920	37.0	168.0	642.0	1.90	28.8	砂质壤土	蒙脱石>云母>绿泥石>石英

表 2 北方钾素定位试验地点、种植制度、试验设计及各处理施肥量[1)]

Table 2 The location, cropping system, treatments of the field fixed site trials in Northern China

省 Province	试验地点 Site	土壤类型 Soil type	种植制度 Cropping system	小区 Plot area (m^2)	N 用量 N rate (kg/hm^2)	P_2O_5 用量 P_2O_5 rate (kg/hm^2)	K_2O 用量 K_2O rates (kg/hm^2)			
			方案 1	Design 1			NP	NPK	NPST	NPKSt
山 东	临沂县	棕壤	小麦-玉米	13	150	112.5	0	150	0	150
	临淄县	褐土	小麦-玉米	33	112.5	112.5	0	56.25	0	56.25
河 北	栾城县	潮褐土	小麦-玉米	50	180	150	0	150	0	150
	辛集市	褐土	小麦-玉米	50	180	180	0	150	0	150
河 南	洛阳市	潮褐土	小麦-玉米	30	150	180	0	150	0	150
	漯河市	潮土	小麦-玉米	30	150	180	0	150	0	150
	遂平县	砂礓黑土	小麦-夏大豆		150**	180	0	150	0	150
天 津	西青区张窝乡	潮土	小麦-玉米	45	225	150	0	150	0	150
黑龙江	红兴隆	草甸土	小麦-春大豆	21	300**	240	0	240	0	240
宁 夏	银川市大新乡	潮灌淤土	小麦/玉米	34	406.5	104.7	0	150	0	150
青 海	乐都县马营	淡栗钙土(旱地)	小麦	25	110	55.2	0	150	0	150
	西宁市	栗钙土(灌溉)	小麦	25	147	73.5	0	150	0	150
山 西	临汾县	褐土	小麦	33	172.5	105	0	150	0	150
陕 西	西安市杨陵区	塿土	小麦-玉米	12	187.5	187.5	0	150	0	150
甘 肃	兰州市	灌淤土	小麦	27	150	75	0	112.5	0	112.5
			方案 2	Design 2			NP	NPK_1		NPK_2
黑龙江	双城市	黑土	玉米	30	375	240	0	187.5		375
	肇东市	黑钙土	玉米	30	375	240	0	187.5		375
吉 林	公主岭市刘房子乡	黑土	玉米	40	225	112.5	0	112.5		225
	公主岭市陶家屯乡	黑土	玉米	40	225	112.5	0	112.5		225
辽 宁	沈阳市	草甸土	玉米	30	300	150	0	112.5		225
	苏家屯区沙河镇	水稻土	水稻		360	180	0	112.5		225
天 津	西青区水高庄	潮土	蔬菜轮作	22	300	225	0	112.5		225
新 疆	昌吉	灰漠土	小麦-玉米	30			0	112.5		225
	泽普	灌淤土	小麦-玉米→棉花	30			0	112.5		225

1)施肥量指每种作物的施肥量,方案 1 中河南遂平和和黑龙江大豆施氮量分别为 60 和 120kg/hm^2。

Note: * The fertilizer rates were for each crop, and the N dose was 60 and 120 kg/hm^2 for the soybean in Henan Suiping and Heilongjiang in design 1, respectively.

龙江的黑土、黑钙土和草甸土、吉林的高肥力黑土、天津的两种潮土、山东临淄的褐土。只有河北栾城的潮褐土和辽宁的草甸土的土壤速效钾含量低于 100mg/kg。其他介于 100～150mg/kg 之间。说明我国北方主要农业土壤的土壤供钾水平较高。

土壤缓效钾含量反映了土壤的供钾潜力。从表 1 中土壤缓效钾的含量看,我国西北地区土壤的土壤缓效钾含量最高。除宁夏银川灌淤土、新疆昌吉灰漠土土壤缓效钾含量低于 1000mg/kg 外,其他土壤均在 1100mg/kg 以上;而东北地区土壤的缓效钾含量最低,除黑龙江红兴隆草甸土接近 1000mg/kg 外,其他土壤均低于 800mg/kg;华北地区土壤的缓效钾含量除河南遂平砂姜黑土低于 600mg/kg 外,其他均介于西北和华北地区土壤之间,在 800～1000mg/kg。

25 种土壤的速效钾含量平均为 158.3mg/kg,缓效钾含量平均为 982.7mg/kg。从地区上看,西北地区土壤的土壤缓效钾和土壤速效钾含量均最高,土壤缓效钾含量平均为 1303mg/kg,比华北和东北地区土壤的平均值分别高 344 和 569mg/kg;土壤速效钾含量平均为 174mg/kg,比华北和东北地区土壤分别高 31 和 10mg/kg。华北地区土壤的缓效钾含量平均为 958mg/kg,比东北地区高 225mg/kg;而速效钾含量平均为 133mg/kg,比东北地区却低 31mg/kg。很明显,土壤缓效钾含量华北地区土壤远高于东北地区土壤,而土壤速效钾含量东北地区土壤又远高于华北地区土壤。

我国北方土壤含有较丰富的钾,反映了土壤-作物系统钾素循环中强大的土壤钾库物质基础,是农业生产中强化农业生产系统内部钾素循环的前提。

2.1.2　作物钾库特征　土壤-作物系统的作物钾库是农业生产中可移出系统之外的部分,其大小决定于作物种类及品种、土壤钾库大小以及农业生产措施等。土壤-作物系统内土壤钾库不同、作物种类不同以及同一作物不同品种,均会影响作物钾库的大小以及这三部分钾的比例。作物钾库的大小可用作物的钾素吸收量表示。

图 1 看出,相同种植制度、相同作物的吸钾量在不同试验地点间也存在很大差异。在华北地区小麦－玉米种植制中,河北和天津的小麦的吸钾量在 140～150kg/hm^2 之间,而山东的小麦只在 100～110kg/hm^2 之间;山西临汾小麦 5 年平均吸钾量高达 195kg/hm^2。河北栾城与天津的玉米 5 年平均吸钾量均达到了 105kg/hm^2,而其他地点只在 66～78kg/hm^2 之间。东北地区一年一季玉米的钾素吸收量的差异相对较小,吉林刘房子和辽宁绥中的平均吸钾量在 100kg/hm^2 左右,其他地点则在 70～89kg/hm^2 之间。

不同地区不同种植制度下的作物吸钾量存在显著差异。在不施钾肥的情况下,华北地区小麦的平均吸钾量为 140kg/hm^2,玉米为 81kg/hm^2;而西北地区小麦为 160kg/hm^2,玉米为 203kg/hm^2;我国东北地区一年一季玉米的吸钾量最低,平均只有 91.65kg/hm^2。可见,就单一作物而言,小麦的吸钾量远大于玉米;就种植制而言,华北和西北地区的轮(套)作制的作物吸钾量远远大于东北地区的一年一熟制。

图 2 看出,华北地区种植的蔬菜全年钾素吸收量明显高于粮食作物。天津菜区不施钾处理,年吸钾量均在 300kg/hm^2 以上,高的达 380kg/hm^2。有的蔬菜如大白菜、菜花一季吸钾量就达到 250kg/hm^2,施钾后年吸钾量高达 450kg/hm^2,而该市的小麦－玉米种植制的钾素吸收量仅为 243.4kg/hm^2 左右。

2.2　秸秆还田与施钾肥对土壤-作物系统内钾素循环的影响

2.2.1　秸秆还田与施钾肥对作物钾库的影响　施钾肥和轮作中小麦秸秆还田对小麦和玉

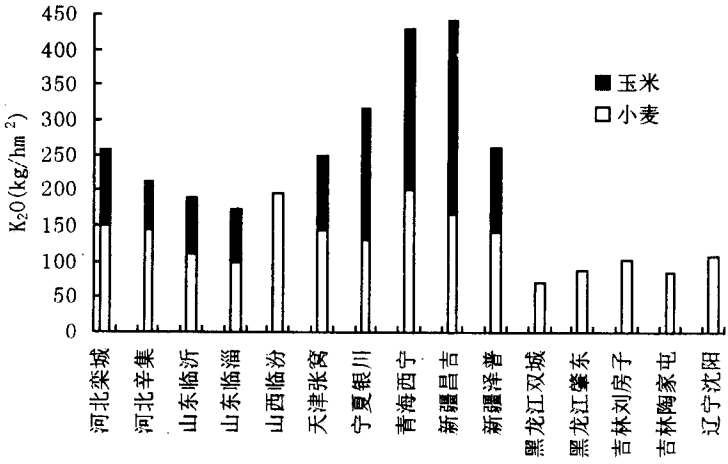

图 1 北方不同地区作物的吸钾量(5年平均值,不施钾肥无秸秆还田)

Fig.1 Crop K uptake at different sites(without potash applied, 5 years average)

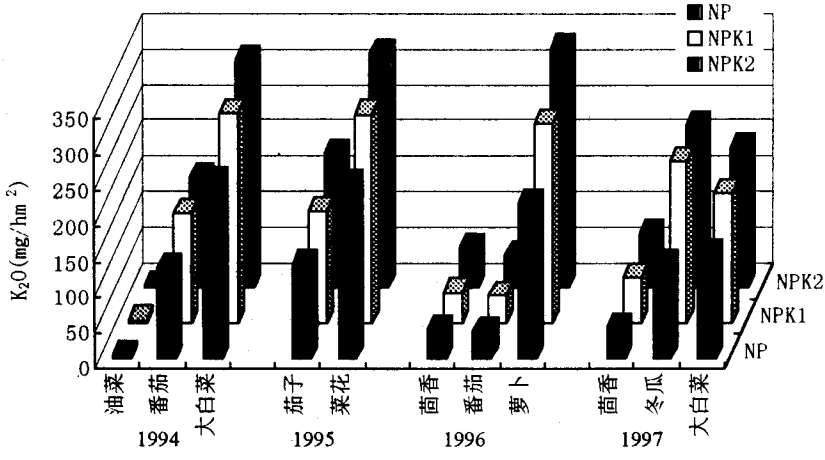

图 2 天津市蔬菜作物的作物钾库比较

Fig.2 K uptake by vegetable crops in Tianjin

米的吸钾量有明显的提高。同时,各地点不同种植制度下的年吸钾总量也有明显提高。从东北、西北、华北地区作物吸钾量的平均值来看,华北地区不施钾肥小区小麦吸钾量仅为140kg/hm^2,而在秸秆还田、单施钾肥和秸秆还田配施钾肥小区则分别为154、180和200kg/hm^2;华北地区不施钾肥小区玉米吸钾量仅为87kg/hm^2,而在秸秆还田、单施钾肥和秸秆还田配施钾肥小区则分别为97、133和147kg/hm^2。可见在提高作物吸钾量的效果上,不同管理措施差别很大,以秸秆还田配合施钾肥的效果最好。在东北和西北地区也有同样的趋势。在采用不同施钾量的玉米上,施钾肥显著提高了玉米的吸钾量。东北地区不施肥小区玉米的吸钾量平均为91kg/hm^2,而在低量和高量钾肥用量下,玉米的吸钾量则分别为130和

164kg/hm^2(图 3)。

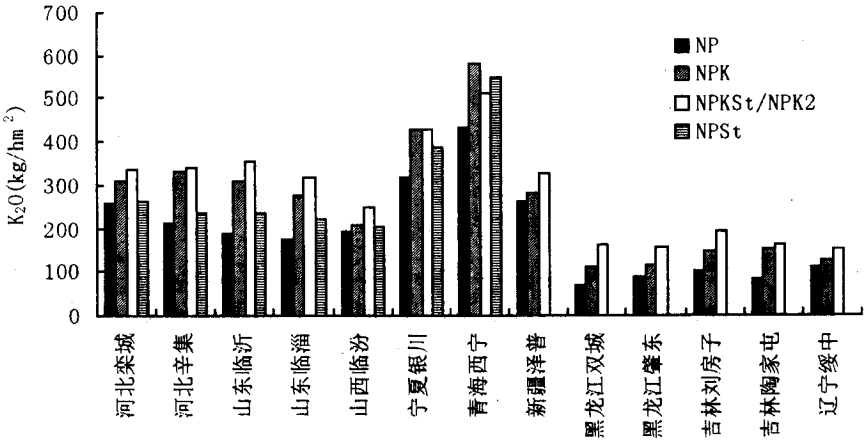

图 3 秸秆还田、施钾肥对各地种植制年吸钾总量的影响

Fig.3　The annual K uptake of cropping systems with or without potash and wheat straw returned

(新疆和东北各点高钾处理为 NPK2,其他为 NPKSt)

在作物收获时,作物吸收的钾在籽粒和秸秆中的分配,也受作物、试验地点以及施肥措施的影响。这可用作物钾素收获百分比(子粒吸收的钾占秸秆和子粒吸钾量之和的百分数)来描述(表 3)。

表 3　几个试验地点小麦、玉米的钾素收获百分比(5 年平均值)

Table 3　The K harvesting percentage of wheat and corn at several site(5 years average)

试验地点 Site	NP	NPK	KPK1	NPK2	NPKSt	NPSt	平均
			小麦　wheat				
黑龙江红兴隆	12.36	12.54	—	—	10.65	11.68	11.81
河北辛集	13.65	9.68	—	—	11.23	11.81	11.78
天津	15.50	18.66	—	—	15.71	16.44	16.58
新疆昌吉	12.17	—	12.30	11.44	—	—	11.97
			玉 米 Corn				
河北栾城	22.20	14.73	—	—	12.91	12.69	15.63
河北辛集	21.79	17.20	—	—	15.90	16.52	17.38
吉林陶家屯	33.77	—	22.77	21.48	—	—	26.01
吉林刘房子	33.07	—	25.46	19.81	—	—	26.12
天津张窝	32.22	—	—	30.38	—	37.19	34.09
新疆泽普	19.08	—	17.41	16.07	—	—	17.52

表 3 看出,玉米的钾素收获百分比高于小麦;同一地点和同一作物,不同肥料处理的钾素收获百分比有明显差异。施钾肥有明显降低作物钾素收获百分比的趋势。例如,河北辛

集小麦不施肥时其值为13.65%,而秸秆还田、施钾肥和秸秆还田配施钾肥处理的值分别为11.81%、11.23%和9.68%。玉米也有相似的趋势,河北两地不施钾肥处理的钾素收获百分比为22%左右,而秸秆还田、施钾肥和秸秆还田配施钾肥处理的值分别为12.7%～16.5%、14.7%～17.2%和12.9%～15.9%;吉林两地不施钾肥处理的钾素收获百分比为33%左右,而低量和高量施钾肥处理的分别22.8%～25.5%和19.8%～21.5%。

可以认为,施钾肥能明显提高作物的吸钾量,扩大作物钾库。但同时降低了作物子粒钾占作物钾库的比例,增加了秸秆的含钾量。这一规律在土壤-作物系统钾素管理中,提高了秸秆还田的重要性,尤其是施钾肥后更要重视秸秆还田。

2.2.2 秸秆还田与施钾肥对土壤钾库的影响 通过长期定位试验中每年在最后一季作物收获后的土壤含钾量分析,可以明显看出,施钾肥和秸秆还田配施钾肥,土壤速效钾含量均有明显的提高。在不采用秸秆还田的试验方案中,施钾肥也会提高土壤速效钾含量。

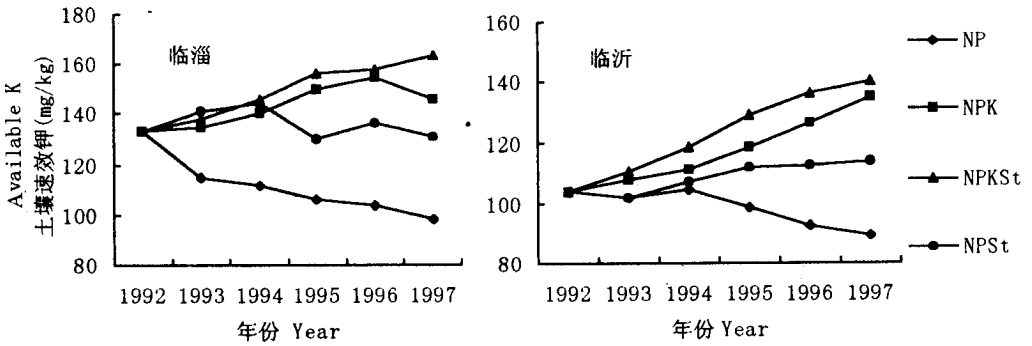

图4 山东不同试验地点土壤速效钾含量的变化

Fig.4 Soil readily available K content change at two sites in Shandong Province

图4结果表明,不施钾肥处理山东临淄点0～20cm土层土壤速效钾含量由1992年的133mg/kg减少到1997年的98mg/kg,每年平均递减7mg/kg,而临沂点由104mg/kg下降为89mg/kg,每年平均下降3mg/kg。说明肥力中等、质地偏砂的潮棕壤,递减速度比肥力较高褐土要高。施用钾肥、秸秆还田或钾肥与秸秆还田配施均能提高土壤速效钾的含量(图4)。在天津菜园土壤上,土壤速效钾具有相似的变化(图5)。

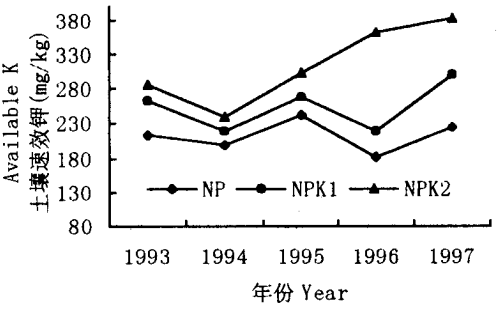

图5 天津菜园土壤0～20cm土层土壤速效钾含量的变化

Fig.5 Soil readily available K content change under vegetable trial in Tianjin City

黑龙江的定位试验结果同样表明,连续5年不施钾肥(K0),0～20cm土壤速效钾含量年平均下降3.5mg/kg,K1处理土

壤速效钾含量年平均增加 3.9mg/kg, K2 处理平均增加 11.3mg/kg(图 6);施钾肥对土壤缓效钾含量影响不大,下降缓慢。连续 5 年 K0 处理土壤缓效钾含量年平均下降 28.7mg/kg, K1 下降 26.3mg/kg, K2 下降 15.7mg/kg(图 7)。

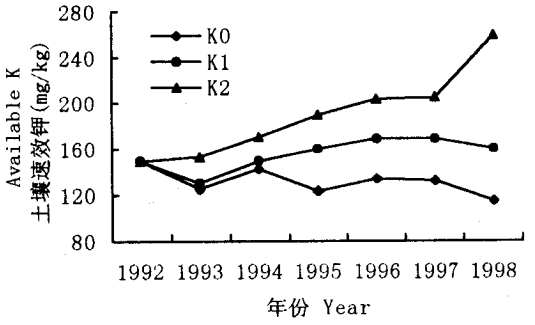

图 6　黑龙江双城土壤速效钾含量的变化

Fig.6　Soil readily available K content change at two depth in Shuangcheng, Heilongjiang

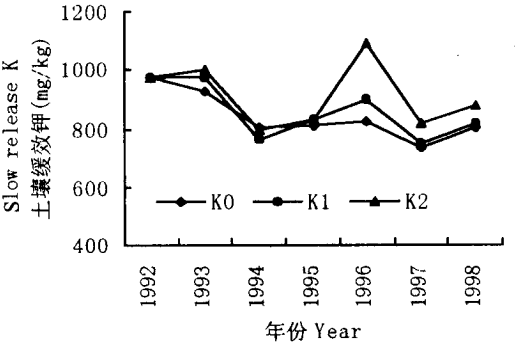

图 7　黑龙江双城土壤缓效钾含量变化

Fig.7　Soil slow-release K content change at two depth in Shuangcheng, Heilongjiang

3　结论

3.1　我国北方土壤,受气候、成土母质、土地利用等条件的综合影响,土壤风化程度较南方低,当前的土壤速效钾、缓效钾以及全钾含量均较高。比较东北、华北和西北地区土壤的速效钾和缓效钾含量发现,西北地区土壤的缓效钾和速效钾含量均最高,而华北地区土壤的缓效钾含量远高于东北地区土壤,而东北地区土壤的速效钾含量又远高于华北地区土壤。我国北方土壤较丰富的钾养分资源,是土壤-作物系统钾素循环中强大的土壤钾库物质基础,是农业生产中强化农业生产系统内部钾素循环的前提。

3.2　不同地区、不同种植制度下的作物吸钾量存在显著差异。西北地区的轮(套)作制远大于华北地区的轮作制,华北地区的轮作制又远大于东北地区的一年一熟制;蔬菜种植制的作物吸钾量,明显大于粮食种植制。了解当前我国北方不同种植制的作物吸钾量,对指导北方合理施用钾肥具有重要意义。

3.3　农业生产中采用施钾肥和轮作中小麦秸秆还田等措施,能明显提高作物的吸钾量。秸秆还田配施钾肥的效果最好。作物吸收的钾在子粒和秸秆中的分配,也受作物、试验地点以及施肥措施的影响。玉米的钾素收获百分比要高于小麦;施钾肥有降低作物的钾素收获百分比的趋势。施钾肥能明显提高作物的吸钾量,扩大作物钾库容量。但同时又降低了作物子粒钾占作物钾库的比例,从而增加了秸秆的含钾量。这一规律在土壤-作物系统钾素管理中,提高了秸秆还田的重要性,尤其是施钾肥后更要重视秸秆还田。

3.4　在不施钾肥的情况下,土壤钾库长期处在被作物耗用的状态下,土壤速效钾含量逐渐下降,土壤缓效钾含量也有降低的趋势。施钾肥和秸秆还田配施钾肥,均能不同程度地减缓这种下降趋势,施钾肥可使土壤速效钾含量明显提高。但是,由于土壤钾存在土壤矿物钾-

土壤缓效钾-土壤速效钾之间的动态平衡关系以及北方土壤这三种钾构成的差别,因此,北方不同地区土壤施钾肥和秸秆还田对土壤钾库特征的影响存在很大的复杂性,值得进一步研究。

参考文献

[1] 谢建昌,李庆逵.土壤钾素[A],李庆逵,等.中国土壤[M].北京:科学出版社,1987.502~516.
[2] 林葆,李家康,等.中国化肥使用研究[A].北京:北京科学技术出版社,1989.1~15.
[3] 林葆,林继雄,等.长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):156~164.
[4] 吴刚,冯宗炜,等.黄淮海平原农林生态系统N、P、K营养元素循环-以泡桐-小麦、玉米间作为例[J].应用生态学报,1993,4(2):141~145.
[5] 吴刚,冯宗炜,等.农林业系统沙兰杨-小麦、玉米群落类型氮、磷、钾营养元素循环的研究[J].生态学报,1993,13(2):139~147.
[6] 王兴仁,曹一平,等.土壤氮磷钾养分资源特征和综合管理策略[J].北京农业大学学报,1995,21(增刊):89~93.
[7] 黄绍文,金继运,等.北方主要土壤钾形态及其有效性研究[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):156~164.

Study on the characteristics of potassium cycling in different soil-crop systems in northern China

LIU Rong-le, JIN Ji-yun, WU Rong-gui, LIANG Ming-zao
(*Soil and Fertilizer Institute, CAAS, Beijing* 100081)

Abstract: As the potassium contents in soils of northern China are relatively high, it is of significance to strengthen the potassium cycling in the agricultural production systems and apply potash fertilizer rationally based on the potassium cycling characteristics in soil-plant systems and the soil potassium balance under different cropping system. Soil analysis revealed that the soil total K contents in northern China soil showed small variation but the soil readily available K and slowly available K contents were significantly higher in soils of northwestern China. The soil readily available K contents were much higher in soils of northeastern China than in north-central China, and for the soil slowly available K contents the reverse was true. The fixed site field trials on the representative soils under the main cropping systems in northern 12 provinces revealed that crop K uptakes under various cropping systems varied significantly. The crop K uptakes in northwestern China were general higher and the double cropping under north-central China showed much higher annual crop K uptakes than the single crop in northeastern China. Returning the wheat straw back into the soil and applying potash fertilizer improved the crop K uptake, with the applying potash fertilizer combined to wheat straw returning showing most prominent effect. The soils were under the depleting status of K when no potash fertilizer was used, the soil readily available K content declined gradually. Potash application and its combination to straw returning would reduce the soil K depletion by crop uptake and slow down the decline of soil K content to some extent.

Key words: soil-plant system; soil potassium; nutrient uptake; crop straw returning; potash fertilizer