

长期施钾与秸秆还田对西北地区不同种植制度下作物产量及土壤钾素的影响

谭德水^{1,2}, 金继运^{2*}, 黄绍文²

(1 山东省农业科学院土壤肥料研究所, 山东济南 250100; 2 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要:研究了在西北地区代表性的灌淤土、栗钙土上连续 13 年施用钾肥和小麦秸秆还田对作物产量和耕层土壤钾素的影响。结果表明, 施用化学钾肥和小麦秸秆还田能显著增加宁夏轮作种植制度下作物产量, 表现为: 氮磷钾肥配合秸秆还田 > 只施用氮磷钾肥 > 氮磷肥配合秸秆还田 > 只施用氮磷肥; 且作物种类对施钾措施的显效时间上有差异, 而钾素投入对青海点小麦产量无显著作用。宁夏点作物年际间产量变异系数低于青海点, 小麦的产量变异系数大于玉米, 但钾肥产量效应却低于玉米。两定位点除氮磷钾 + 秸秆还田外, 其余处理土壤钾素均表现亏缺, 轮作制度下土壤钾素亏缺量较小麦单作制大。两定位点施钾或秸秆还田处理的水溶性钾、非特殊吸附钾、非交换性钾和全钾含量均不同程度高于只施氮磷处理; 除矿物钾外, 其余几种形态钾比例均高于氮磷处理, 特殊吸附钾不受施钾措施的影响。与定位开始时相比, 两种类型土壤各形态钾含量和比例随时间变异特点不同, 与原始土壤钾素状况及种植制度密切相关。

关键词: 不同种植制度; 长期施钾; 秸秆还田; 土壤钾素; 作物产量

中图分类号: S513.06

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)05-0886-08

Effect of long-term K fertilizer application and returning wheat straw to soil on crop yield and soil K under different planting systems in northwestern China

TAN De-shui^{1,2}, JIN Ji-yun^{2*}, HUANG Shao-wen²

(1 Institute of Soil and Fertilizer, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;

2 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: Experiments of long-term K fertilizer application and returning wheat straw to soil in Ningxia irrigation silting soils and Qinghai castanozems in northwestern China were started in 1992. Effect of K fertilizer application and returning wheat straw to soil on crop yield and soil K status in the plough layer under different planting systems was studied. The results showed that K fertilizer and wheat straw could improve crop yield significantly in Ningxia site, with the treatments being in the following order: NPK + Straw > NPK > NP + Straw > NP. The time when the positive effect of K application on yield became significant in Ningxia differed with varieties, however, K application or returning wheat straw to soil did not have any significant effect on wheat yield in Qinghai. Coefficient of variance of wheat yield in each treatment of Ningxia was lower than in Qinghai and was higher than maize, but yield efficiency of K fertilizer application was on the contrary. Except for treatment NPK + Straw, soil K was deficient in each treatment of the two fixed sites, and the consumption of soil K was more serious in the rotation system of Ningxia than in wheat monoculture of Qinghai. K fertilizer and straw could improve content of water-soluble K, non-specifically adsorbed K, non-exchangeable K and total K in contrast to NP, however reduce proportion of mineral K and improve those of others in the two fixed sites, and content and proportion of specifically adsorbed K had no relations with K fertilizer and straw. Compared with the beginning of the experiment, temporal variability characteristics of content and proportion of different forms of K differed between two soil

收稿日期: 2007-09-28

接受日期: 2007-12-20

基金项目: 国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目; 国家科技支撑计划 (2006BAD02A14) 资助。

作者简介: 谭德水 (1978—) 男, 山东省文登市人, 博士, 主要从事植物营养与土壤养分管理方面的研究。

Tel: 0531-83178353, E-mail: tandeshui@163.com

* 通讯作者 Tel: 010-82108000, E-mail: jyjjin@caas.ac.cn

types, which were closely related to K status of original soil and planting system.

Key words: different planting systems; long-term K fertilizer application; returning wheat straw to soil; soil K; crop yield

我国北方缺钾问题不如南方突出,原来只是局部地区缺钾,但近几年由于氮磷肥的大量施用,作物高产品种的推广和产量提高,土壤钾素不断耗竭,使中国北方地区陆续出现一些土壤缺钾和作物施钾增产的报道^[1-2]。据报道,西北地区土壤钾素含量较高,供钾能力较强^[3],但长期不施钾土壤钾素状况变化尚无确切定论。由于我国钾资源贫乏,需要寻找肥料以外的对土壤钾的有效补充手段。小麦秸秆是有机钾肥资源,秸秆直接或间接归还于土壤,可建立一个良好的土壤生态体系^[4]。前人在施肥和秸秆还田对土壤物理性状、基本养分变化及对作物增产的报道较多^[5-9],而对日益严重的土壤缺钾问题,尤其是长期定位于某一地块上长期施钾和秸秆还田对各形态钾素的影响及对土壤钾库贡献的研究较少,特别是在某些富钾的土壤和地块上尚无长期试验研究。

金继运等^[10]对土壤中起重要作用的当季作物主要来源的交换性钾按存在位置和可交换性不同做了进一步分级,将交换性钾分为非特殊吸附钾和特殊吸附钾两种形态,这一钾素形态分级方法的提出,可以清楚地了解土壤各种形态钾对作物的有效性。

土壤钾的存在形态、含量分布及其植物有效性是决定土壤供钾能力的重要因素^[11],因此,在中国西北地区的灌淤土、栗钙土区土壤上进行秸秆与化肥配施长期定位试验,既可观察秸秆增钾效应和土壤钾素平衡、各形态钾分布及转化特点,又可对不同类型土壤的钾肥资源优化管理提供大量的试验资料。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验始于 1992 年,定位在西北两个土壤类型地区:1)宁夏银川市郊区大新乡,粘土矿物含量为云母>高岭石>石英>绿泥石>蛭石,土壤为粘壤质灌淤土,偏碱性,供钾能力高,年均降水量为 445 mm,排灌便利,种植制度为小麦玉米轮作。2)青海省农科院,粘土矿物含量为云母>绿泥石>石英>蛭石,土壤为粘壤质栗钙土,偏碱性,供钾能力高,年均降水量为 360 mm,种植制度为小麦单作,灌溉条件相对较差。两地均用当地主推的高产品种。定位开始时耕层土壤(0—20 cm)具体肥力状况见表 1。

表 1 1992 年各定位点供试土壤基础肥力(0—20 cm)
Table 1 Details of soil fertility in the two experimental sites in 1992

地点 Region	土壤类型 Soil type	pH	阳离子交换量 CEC (cmol/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有机质 OM (%)	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	速效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)
宁夏 Ningxia	灌淤土 Irrigation silting soils	7.75	10.8	0.97	1.15	28.6	50.3	31.8	129.4
青海 Qinghai	栗钙土 Castanozems	7.6	13.8	1.27	1.83	33.8	42.6	90.4	177.3

试验在充足的氮磷底肥下进行,各设 4 个处理。宁夏点:1)NP;2)NP+St(小麦秸秆全部还田,下同);3)NPK;4)NPK+St。小麦种植时施 N 138 kg/hm²、P₂O₅ 103.5 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²;玉米种植时施 N 414 kg/hm²、P₂O₅ 103.5 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²。肥料为尿素(底追施比例为 1:2),重过磷酸钙(底施),氯化钾(加拿大进口钾肥,含 K₂O 60%,生理中性肥料,底施)。每处理 4 次重复,每小区面积 33.6 m²。青海点:1)NP;2)NP+St;3)NPK;4)

NPK+St。施 N 110 kg/hm²、P₂O₅ 55.2 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²,肥料为尿素(底施),过磷酸钙(底施),氯化钾(底施)。每处理 4 次重复,小区面积 25 m²。各点不同处理随机排列,每年作物施肥量和施肥方式相同,栽培管理措施与当地大田生产相同。

1992 年于最后一季作物收获时取 0—20 cm 土壤样品,风干保存,同时开始定位试验。2005 年最后一季作物收获时取 0—20 cm 土层土样,风干后过 1 mm 筛,用于土壤各分级形态钾的测定,风干土过

0.25 mm 筛用于土壤全钾测定。1992 年与 2005 年土壤样品各项目测定同时进行。

1.2 测定项目及方法

土壤基础性状:铵态氮用系统研究法测定^[12];硝态氮用 2 mol/L KCl 溶液浸提后比色进行测定;速效磷用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提,钼锑抗比色;速效钾用 1 mol/L 醋酸铵浸提,原子吸收分光光度计测定。

水溶性钾按水土比 10:1 用蒸馏水提取;非特殊吸附钾是土壤胶体表面吸附的能被钙、镁等离子所交换的钾,用 0.5 mol/L 中性醋酸镁溶液提取;特殊吸附钾用 1 mol/L 中性醋酸铵溶液提取;非交换性钾用 1 mol/L 硝酸溶液煮沸提取;全钾用氢氧化钠熔融法提取,提取出来的钾稀释后均用原子吸收分光光度计测定。

植株钾含量用 H₂SO₄ + H₂O₂ 联合消煮,原子吸收光度计测定。

非特殊吸附性钾 = 醋酸镁浸提钾 - 水溶性钾;
特殊吸附钾 = 醋酸铵浸提钾 - 醋酸镁浸提钾;
非交换性钾 = 硝酸消煮钾 - 醋酸铵浸提钾;
矿物钾 = 全钾 - 硝酸消煮钾;
钾肥效应 = 施钾增产量/施钾量;
土壤钾素表观盈亏量 = 投入土壤钾素总量 - 作

物带出土壤钾素总量。

试验数据用 DPS 3.01v 专业版软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 13 年长期定位条件下两定位点不同处理作物产量状况

施钾和秸秆还田对西北地区作物产量的影响在年际间表现不同,在轮作区两种作物上作用也有差异。

图 1 看出,在宁夏轮作定位点,1993~1998 年间各施肥处理小麦产量差异不显著,从 1999 年开始,施入钾肥处理较 NP 显著增产,而秸秆还田处理推迟至 2002 年才开始显著增产。大多数年份处理间产量表现为: NPK + St > NPK > NP + St > NP。玉米与小麦略有不同,各种投入钾素措施显效时间较小麦提前(NPK 和 NPK + St 处理从定位开始时就显著增产, NP + St 处理从试验第三年开始显著增产, 13 年中显著增产年份有 9 年,且在定位期间,两钾肥处理(NPK 和 NPK + St)玉米产量差异未达显著水平。

在青海定位点,施钾和小麦秸秆还田对小麦产量无明显作用,从 1993 年到 2002 年以及 2004 年各处理间小麦产量差异不显著(图 2)。

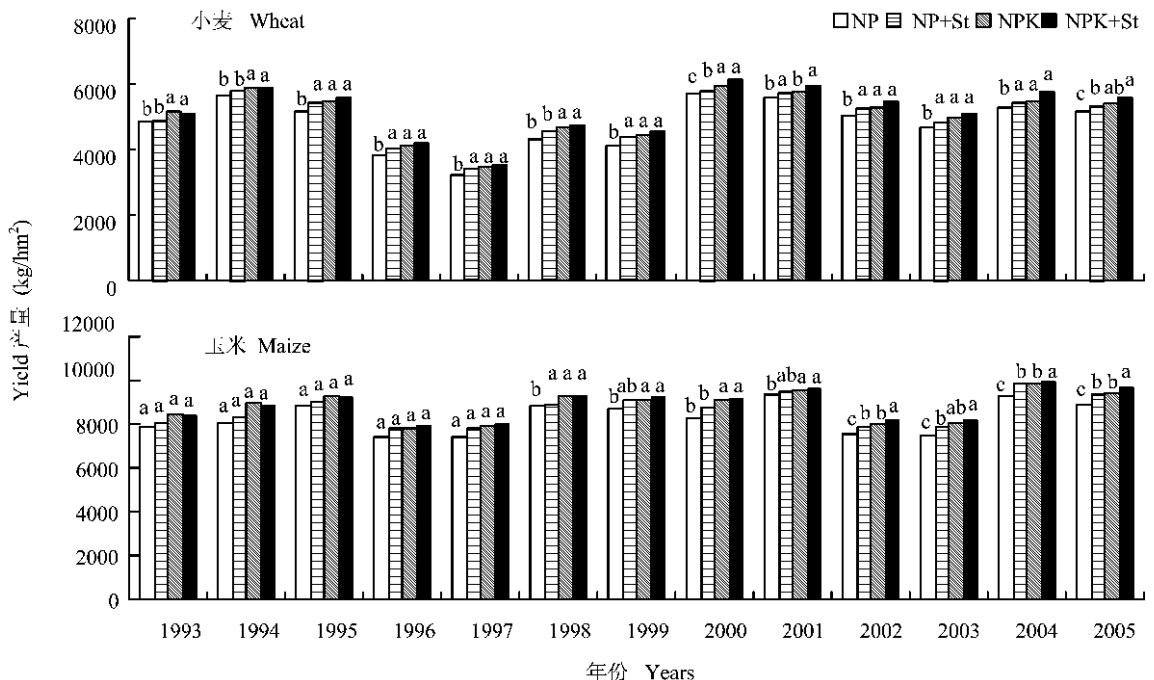


图 1 长期施钾和秸秆还田对宁夏点作物产量的影响

Fig. 1 Effect of long-term K fertilizer application and returning straw to soil on crop yield in Ningxia fixed site

(各年份方柱上不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同。

Different letters above the bars in the same year indicate significant at 5% level. The same below.)

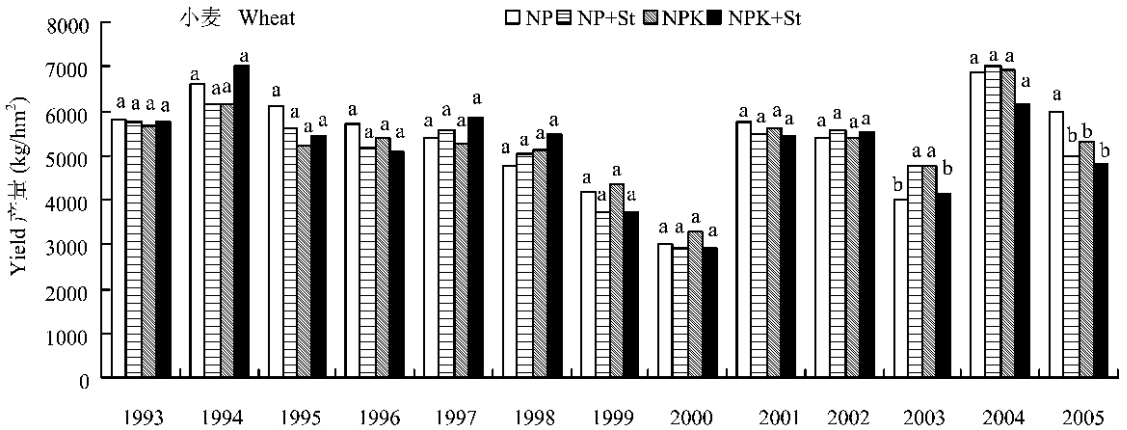


图 2 长期施钾和秸秆还田对青海点小麦产量的影响

Fig.2 Effect of K fertilizer application and returning straw to soil on wheat yield in Qinghai fixed site

2.2 长期施用钾肥与秸秆还田对小麦、玉米的增产效应

从 13 年的作物平均产量看(表 2),宁夏点作物施钾或秸秆还田处理产量均与 NP 差异显著,钾肥处理(NPK 与 NPK + St)与秸秆还田处理(NP + St)产量差异亦显著,但两个钾肥处理产量差异未达到显著水平。而在青海点,各施肥处理小麦产量无显著差异。从定位期间作物产量变异情况来看,宁夏点 NP 处理作物年际间产量变异系数较大,施钾或秸秆还田处理作物

产量变异系数较小,产量比较稳定,玉米作物变异亦小于小麦,而在青海点各处理年份间的变异系数无明显规律,且变异系数大于宁夏点小麦。

从增产率看,宁夏点两种作物均是 NPK + St 处理增产率最高,较 NP 处理小麦增产可达到 8.0%,玉米也达到 7.2%。而青海点各投入钾的处理产量增产率均为负值。在宁夏点 NPK + St 处理钾肥增产效应低于 NPK 处理,这源于秸秆钾的补充作用,在玉米作物上的增产效应高于小麦。

表 2 不同定位点长期施钾与秸秆还田对小麦、玉米产量的影响(13 年平均)

Table 2 Effect of long-term K fertilizer application and returning straw to soil on yield of wheat and maize in different fixed sites(average of 13 years)

定位点 Fixed site	处理 Treat.	年均产量(kg/hm ²) Yield annually				增产(%) Yield increase		钾肥效应(kg/kg) K efficiency		
		小麦 Wheat	变异系数 CV(%)	玉米 Maize	变异系数 CV(%)	总产 Total yield	小麦 Wheat	玉米 Maize	小麦 Wheat	玉米 Maize
宁夏灌淤土 Ningxia irrigation silted soils	NP	4808 c	15.8	8307 c	8.8	13100				
	NP + St	4980 b	14.7	8639 b	8.3	13619	3.6	4.0		
	NPK	5076 a	14.5	8836 a	7.9	13905	5.6	6.4	1.8	3.5
	NPK + St	5193 a	14.8	8902 a	7.7	14095	8.0	7.2	1.4	1.8
青海栗钙土 Qinghai castanozems	NP	5355 a	20.3			5355		—		
	NP + St	5220 a	19.8			5220	-2.5			
	NPK	5269 a	16.3			5269	-1.6		-0.6	
	NPK + St	5184 a	20.6			5184	-3.2		-0.2	

2.3 不同种植制度下作物吸收钾素及土壤钾素盈亏状况

小麦秸秆钾含量占植株中钾素总含量的 80% 以上,是丰富的钾素资源^[13]。施钾和秸秆还田均可显著增加秸秆吸钾量和作物的总吸钾量。宁夏灌淤土上玉米能比小麦吸收更多的钾素,且轮作制度下作物从土壤中带走大量的钾素,年均移走 K₂O 300

kg/hm² 以上,除 NPK + St 外其他 3 个处理都出现不同程度的钾素表现亏缺,NP + St 处理钾素平衡系数仅为 0.35;在青海小麦单作制度下,除 NPK + St 外其他三个处理也出现钾素亏缺,但亏缺量相对较少,NPK + St 处理较宁夏点有较多的土壤钾素盈余,钾素平衡系数达到 1.55。由此可见,轮作制度下的土壤钾素损耗巨大(表 3)。

表 3 长期施用钾肥与秸秆还田对作物吸钾量和土壤钾素平衡的影响

Table 3 Effect of long-term K fertilizer application and returning wheat straw to soil on crop K uptake and soil K balance

定位点 Fixed site	处理 Treatment	小麦秸秆钾量(K ₂ O) K quantity absorbed by wheat straw		年均总吸收钾(K ₂ O) Total K quantity absorbed annually (kg/hm ²)			年均盈亏量 (K ₂ O) Profit and loss annually (kg/hm ²)	钾素平衡 系数 Balance index of K
		数量 Quantity (kg/hm ²)	比例 Proportion (%)	小麦 Wheat	玉米 Maize	总计 Total		
宁夏灌淤土 Ningxia irrigation silting soils	NP	112.5 c	86.7	129.7	187.2	316.9 c	- 316.9	0
	NP + St	123.6 b	86.5	142.8	213.3	356.1 b	- 232.6	0.35 ± 0.09
	NPK	134.1 a	87.0	154.2	222.7	376.9 a	- 76.8	0.80 ± 0.18
	NPK + St	137.5 a	85.9	160.1	226.5	386.6 a	38.4	1.13 ± 0.07
青海栗钙土 Qinghai castanozems	NP	144.6 c	82.4	175.5		175.5 c	- 175.5	0
	NP + St	166.3 b	84.8	196.0		196.0 b	- 29.7	0.85 ± 0.18
	NPK	167.5 b	84.8	197.8		197.8 b	- 47.8	0.76 ± 0.12
	NPK + St	188.9 a	86.5	218.4		218.4 a	120.5	1.55 ± 0.28

注(Note): 同一定位点同列数据后不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著, 下同 Values followed by different letters within a column in the same site are significantly different at $P < 0.05$ level. The same below.

2.4 长期施用钾肥与秸秆还田对耕层土壤不同形态钾素含量和比例的影响

长期施用钾肥和秸秆还田对耕层土壤不同形态钾含量和比例的影响各不相同, 而且各处理与定位开始时各形态钾素的含量和比例也有明显差异。各形态钾在两种类型土壤中的含量和在全钾中的比例分布基本是矿物钾 > 非交换性钾 > 特殊吸附钾 ≈ 非特殊吸附钾 > 水溶性钾。

表 4 看出, 在宁夏定位点, 施钾或秸秆还田均可不同程度提高土壤各种形态钾的含量, 各种形态钾在不同处理间含量均表现为: NPK + St > NPK > NP + St > NP, 其中特殊吸附钾受钾肥施用和小麦秸秆还田的影响较小。NPK 和 NPK + St 处理的水溶性钾、非特殊吸附钾和非交换性钾含量均与 NP 差异显著, NP + St 处理各种形态钾含量均与 NP 无显著差异。与含量特征表现不同的是秸秆还田或施用钾肥较 NP 处理降低土壤中矿物钾在全钾中的比例, 源于施用钾肥和秸秆还田增加土壤中的离子态钾从而削弱了矿物钾的比例。与定位开始相比, NP 和 NP + St 处理的非交换性钾含量以及所有处理的矿物钾含量低于定位开始外, 其余处理的各形态钾含量均不同程度地高于定位开始。从增加各种形态钾素的比来看, 在宁夏定位点对非交换性钾比例的提高幅度较大, 其次是非特殊吸附钾和水溶性钾, 特殊吸附钾的比例几乎不受影响。在青海定位点, 施钾和秸秆还田同样可增加不同形态钾的含量, 各种

形态钾均是 NPK + St 处理含量最高。除矿物钾外其余形态钾在投入钾肥的处理中含量均与 NP 差异显著, 不同的是与 NP 处理相比其增加幅度要高于宁夏点, 处理间差距较大。

两种钾素投入措施对非特殊吸附钾和非交换性钾的比例提高较大, 其次是水溶性钾, 对特殊吸附钾比例提高幅度较小(表 5)。两种向土壤投入措施相比较, 直接施用钾肥较 NP 处理在增加各种形态钾含量和比例的效果上明显优于秸秆还田(将还田的秸秆钾按等量的肥料钾计算)。与定位开始时土壤各形态钾含量相比, NP 处理水溶性钾和非特殊吸附钾含量降低, 各处理特殊吸附钾和矿物钾含量均低于定位开始时, 非交换性钾除 NPK + St 外均低于开始时的含量。其中青海点矿物钾含量与定位开始时相比的降低幅度低于宁夏点。

施用钾肥与小麦秸秆还田对耕层土壤全钾含量的影响表明(图 3), 两定位点 0—20 cm 土层长期施用钾肥和秸秆还田处理的土壤全钾含量均高于 NP 处理, 处理间表现为: NPK + St > NPK > NP + St > NP。其中施钾肥处理(NPK 和 NPK + St)均与 NP 差异显著, 而 NP + St 处理全钾含量与 NP 差异未达到显著水平。两定位点表现不同的是, 经过 13 年施肥处理后各处理的土壤全钾含量与定位开始时相比, 宁夏轮作定位点含量下降幅度较大, 范围从 0.8 ~ 1.2 g/kg; 青海小麦下降幅度较小, 范围在 0 ~ 0.5 g/kg。

表 4 长期施钾和秸秆还田条件下两种类型土壤不同形态钾素含量的时间变异

Table 4 Temporal variability of different forms of potassium content in two soil types under long-term K fertilizer application and returning wheat straw to soil

定位点 Fixed site	处理 Treatment	水溶性钾 Water-soluble K (mg/kg)		非特殊吸附钾 Non-specifically adsorbed K (mg/kg)		特殊吸附钾 Specifically adsorbed K (mg/kg)		非交换性钾 Non-exchangeable K (mg/kg)		矿物钾 Mineral K (g/kg)	
		1992	2005	1992	2005	1992	2005	1992	2005	1992	2005
宁夏灌淤土 Ningxia irrigation silting soils	NP	17.9	18.1 b	55.5	58.7 b	56.0	71.2 a	1087.3	1009.3 b	18.8	17.6 b
	NP + St		19.6 b		58.4 b		72.5 a		1011.1 b		17.6 b
	NPK		27.0 a		79.0 a		72.1 a		1125.2 a		17.7 b
	NPK + St		30.6 a		86.7 a		71.8 a		1136.5 a		17.9 a
青海栗钙土 Qinghai castanozems	NP	19.6	15.5 c	62.4	33.7 c	95.3	76.2 b	1429.8	1310.2 c	18.4	18.1 a
	NP + St		25.8 bc		58.8 bc		83.0 a		1373.3 bc		17.9 b
	NPK		33.4 b		69.4 b		85.9 a		1419.5 ab		18.0 a
	NPK + St		45.7 a		128.9 a		86.9 a		1454.1 a		18.3 a

表 5 长期施钾和秸秆还田条件下两种类型土壤不同形态钾素比例的时间变异

Table 5 Temporal variability status of different forms of potassium proportion in two soil types under long-term K fertilizer application and returning wheat straw to soil (%)

定位点 Fixed site	处理 Treatment	水溶性钾 Water-soluble K		非特殊吸附钾 Non-specifically adsorbed K		特殊吸附钾 Specifically adsorbed K		非交换性钾 Non-exchangeable K		矿物钾 Mineral K (g/kg)	
		1992	2005	1992	2005	1992	2005	1992	2005	1992	2005
宁夏灌淤土 Ningxia irrigation silting soils	NP	0.089	0.096 b	0.277	0.312 b	0.280	0.379 a	5.44	5.37 b	93.9	93.8 a
	NP + St		0.104 b		0.311 b		0.386 a		5.39 b		93.8 a
	NPK		0.142 a		0.417 a		0.380 a		5.93 a		93.1 b
	NPK + St		0.159 a		0.451 a		0.373 a		5.91 a		93.1 b
青海栗钙土 Qinghai castanozems	NP	0.098	0.082 c	0.312	0.178 c	0.477	0.401 b	7.15	6.69 c	92.0	92.7 a
	NP + St		0.139 b		0.316 b		0.446 a		7.05 b		92.1 b
	NPK		0.170 b		0.353 b		0.437 a		7.22 a		91.8 b
	NPK + St		0.229 a		0.645 a		0.434 a		7.27 a		91.4 c

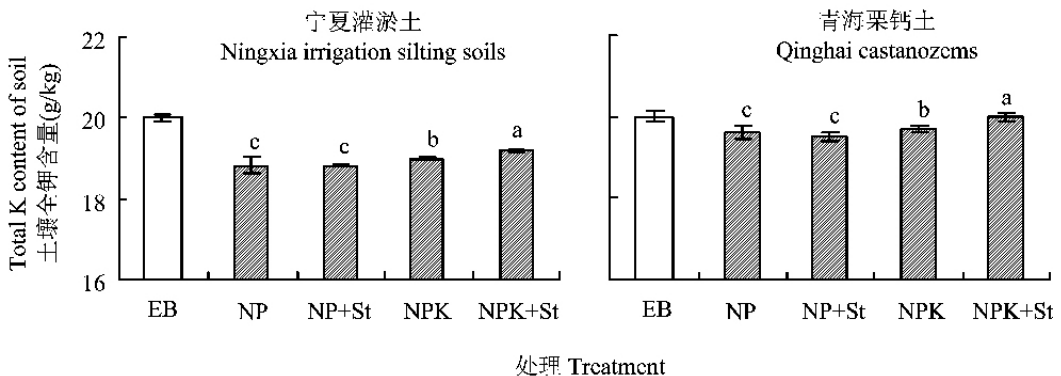


图 3 长期施钾与秸秆还田对宁夏灌淤土和青海栗钙土全钾含量的影响

Fig. 3 Effect of long-term K fertilizer application and returning wheat straw to soil on content of total K in irrigation silting soils of Ningxia and castanozems of Qinghai

(EB 代表定位开始 Delegated experiment 's beginning)

3 讨论

中国北方地区陆续出现一些土壤缺钾和作物施钾增产的报道^[1-2, 14],但也有地区报道施钾作用不明显^[15]。西北宁夏和青海两省定位点土壤钾素含量较丰富,但由于作物种植制度的不同,作物对施钾和秸秆还田的反应却大不相同。宁夏轮作点小麦施钾或秸秆还田的增产效果在定位开始第6年就开始显著,玉米则更加提前,施用钾肥比秸秆还田效果明显;而青海小麦一年一作点钾素没有表现出增产作用,大多数年份处理之间产量差异不显著。作物产量对钾素投入的不同反应除与种植制度相关外,与原有土壤的钾素含量及钾素供应能力也密切相关。

地上部分的作物产量及携钾量与土壤钾素的平衡存在密切的关系^[4, 16]。两定位点除 NPK + St 外,其余处理均有不同程度的钾素亏缺,相比之下宁夏轮作点的土壤钾素亏缺较为严重,平衡系数低;青海点虽然钾素投入对作物产量没有作用,但从土壤钾素平衡的方面考虑,每年的钾素投入是必要的^[17]。由于中国的钾肥资源有限,因此小麦秸秆作为一种有机钾肥资源,其对土壤钾素的补充有十分重要的意义。作物地上部分较多的携钾量可导致两施钾措施对土壤各种形态钾素含量的影响减小,这从各形态钾素的处理间含量差异(宁夏点施钾或秸秆对各种形态钾含量的增幅小于青海点)即可看出。施用钾肥和秸秆还田处理的矿物钾含量虽然高于 NP,但其在全钾中的比例明显降低,这源于钾素投入增加土壤中的离子态钾从而削弱了矿物钾的比例^[18]。与定位开始时相比,宁夏点各处理土壤速效态钾(水溶性钾、非特殊吸附钾、特殊吸附钾)含量均高于定位开始,而非交换性钾和矿物钾含量则表现降低。说明宁夏灌淤土在定位试验开始时其速效态钾含量绝对值虽不低,但已接近该类型土壤的“最低水平值”,常年一年两季作物的钾素吸收,使其吸收钾素的形态主要来源于非交换性钾和矿物态钾^[14, 19]。由于长期施用氮磷肥以及秸秆还田对土壤理化性状的改变,可促进土壤矿物钾素的释放^[20],同时也部分的增加了速效态钾离子的含量,这似乎可以部分解释相关处理土壤钾素表现亏缺而土壤速效态钾素含量却表现升高之间的矛盾,其他方面的原因还需进一步研究。青海栗钙土定位开始速效钾含量水平相对较高,再加上每年只种植一季小麦,因此作物的吸收多数集中于速效态钾,与宁夏点相比较,其非交换性钾和矿物态钾的下降幅度较

小,自然释放量也较少。

本研究还发现,无论是施用钾肥或是秸秆还田,两定位点各处理全钾含量较定位开始时都有不同程度的降低。由于作物的吸收、土壤钾的径流和向下迁移等途径的损失^[21],虽然有的处理速效态钾或非交换性钾较定位开始有所升高,但这也是以消耗全钾的绝对量为代价。宁夏轮作制度下各处理全钾含量降低幅度较大,说明该种植地区的耕层土壤钾素消耗严重^[22],这是气候条件和种植制度的双重影响^[23-24]的结果。从节省资源的角度需秸秆还田配合钾肥施用缓解土壤钾素含量的降低。

参考文献:

- [1] 金继运. 我国北方土壤缺钾和钾肥应用的发展趋势[A]. 中国农业科学院土壤肥料研究所,加拿大钾磷研究所北京办事处. 北方土壤钾素和钾肥效益[C]. 北京:中国农业科技出版社, 1994. 1-5.
Jin J Y. Development of potassium application and lack of soil potassium in north China[A]. Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Peking Office of Canada Phosphorus and Potassium Institute. Soil K and yield responses in North China[C]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 1994. 1-5.
- [2] 刘荣乐,金继运,吴荣贵,梁鸣早. 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[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 123-132.
Liu R L, Jin J Y, Wu R G, Liang M Z. Study on the characteristics of potassium cycling in different soil-crop systems in northern China[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2000, 6(2): 123-132.
- [3] 黄绍文,金继运,程明芳,杨俐萍. 北方主要土壤对当季作物的供钾能力[J]. 土壤肥料, 1999(3): 3-7 21.
Huang S W, Jin J Y, Cheng M F, Yang L P. Supplying power of soil potassium to present crop in north China[J]. Soils Fert., 1999, (3): 3-7, 21.
- [4] 李秋梅,陈新平,张福锁, Römheld V. 冬小麦—夏玉米轮作体系中磷钾平衡的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 152-156.
Li Q M, Chen X P, Zhang F S, Römheld V. Study on balance of phosphorus and potassium in winter wheat and summer maize rotation system[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2002, 8(2): 152-156.
- [5] 劳秀荣,吴子一,高燕春. 长期秸秆还田改土培肥效应的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 49-52.
Lao X R, Wu Z Y, Gao Y C. Effect of long-term returning straw to soil on soil fertility[J]. Trans. CSAE, 2002, 18(2): 49-52.
- [6] 刘世平,张洪程,戴其根,等. 免耕套种与秸秆还田对农田生态环境及小麦生长的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 393-396.
Liu S P, Zhang H C, Dai Q G et al. Effect of no-tillage plus interplanting and remaining straw on the field on cropland eco-environment and wheat growth[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(2): 393-396.

- [7] 王英,孙克刚,焦有,等. 河南主要土类施用钾肥配合秸秆还田定位试验初报[J]. 河南农业科学, 1996 (1): 20-24.
Wang Y, Sun K G, Jiao Y *et al.* Study on the fixed site trials for the combined application of K fertilizer and straw in Henna major soil types [J]. J. Henan Agric. Sci., 1996, (1): 20-24.
- [8] Turley D B, Phillips M C, Johnson P *et al.* Long-term straw management effects on yields of sequential wheat (*Triticum aestivum* L.) crops in clay and silty clay loam soils in England [J]. Soil Till. Res., 2003, 71(1): 59-69.
- [9] 史吉平,张夫道,林葆. 长期施肥对土壤有机质及生物学特性的影响[J]. 土壤肥料, 1998 (3): 7-11.
Shi J P, Zhang F D, Lin B. Effect of long-term fertilization on organic matter and biological character in soil [J]. Soils Fert., 1998, (3): 7-11.
- [10] 金继运. 土壤钾素研究进展[J]. 土壤学报, 1993, 30(1): 94-101.
Jin J Y. The advance of soil potassium [J]. Acta Pedol. Sin., 1993, 30(1): 94-101.
- [11] 黄绍文,金继运,王泽良,程明芳. 北方主要土壤钾形态及其植物有效性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 156-164.
Huang S W, Jin J Y, Wang Z L, Cheng M F. Native potassium forms and plant availability in selected soils from northern China [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1998, 4(2): 156-164.
- [12] 金继运,白由路. 精准农业与土壤养分管理[M]. 北京: 中国大地出版社, 2001. 152-159.
Jin J Y, Bai Y L. Precision agriculture and management of soil nutrients [M]. Beijing: China Land Press, 2001. 152-159.
- [13] 曹荣祥,王志明,童晓利,等. 稻麦轮作制中秸秆钾与化肥钾利用的研究[J]. 土壤肥料, 2000 (4): 23-26.
Cao R X, Wang Z M, Tong X L *et al.* Study on the utilization of straw potassium and chemical potassium in rice-wheat rotation system [J]. Soils Fert., 2000, (4): 23-26.
- [14] 谭德水,金继运,黄绍文,等. 不同种植制度下长期施钾与秸秆还田对作物产量和土壤钾素的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 133-139.
Tan D S, Jin J Y, Huang S W *et al.* Effect of long-term application of K fertilizer and wheat straw to soil on crop yield and soil K under different planting systems [J]. Sci. Agric. Sin., 2007, 40(1): 133-139.
- [15] 古巧珍,杨学云,孙本华,等. 长期定位施肥对小麦籽粒产量及品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(3): 76-79.
Gu Q Z, Yang X Y, Sun B H *et al.* Effects of long-term fertilization on grain yield and quality of wheat [J]. J. Triticeae Crops, 2004, 24(3): 76-79.
- [16] 索东让,王托和,李多忠. 河西走廊富钾土壤钾肥效应及钾素平衡的长期定位研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 90-92.
Suo D R, Wang T H, Li D Z. A long-time study on the effect and balance of potassium [J]. Chin. Eco-Agric., 2002, 10(3): 90-92.
- [17] 陈旭晖,陈湘燕. 贵州土壤钾素状况与钾肥施用问题[J]. 西南农业大学学报, 2003, 25(2): 157-160.
Chen X H, Chen X Y. The content of soil potassium in Guizhou and the application of potassium fertilizer [J]. J. Southwest Agric. Univ., 2003, 25(2): 157-160.
- [18] 陈防,詹剑巍,万运帆,等. 长期施钾对作物增产及土壤钾素含量及形态的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 233-241.
Chen F, Lu J W, Wan Y F *et al.* Effect of long term potassium application on soil potassium content and forms [J]. Acta Pedol. Sin., 2000, 37(2): 233-241.
- [19] Jouany C, Colomb B, Bosc M. Long-term effects of potassium fertilization on yields and fertility status of calcareous soils of south-west France [J]. Eur. J. Agron., 1996, 5: 287-294.
- [20] 范钦桢,谢建昌. 长期肥料定位试验中土壤钾素肥力的演变[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 591-599.
Fan Q Z, Xie J C. Variation of potassium fertility in soil in the long-term stationary experiment [J]. Acta Pedol. Sin., 2005, 42(4): 591-599.
- [21] 范闻捷,介晓磊,李有田,等. 潮土区小麦—玉米轮作周期内土壤钾素的动态研究 I. 不施钾条件下土壤钾素动态与垂直变化[J]. 华中农业大学学报, 1998, 17(5): 452-458.
Fan W J, Jie X L, Li Y T *et al.* Studies on dynamics of potassium in soil in wheat-maize rotated chao soil region I. The dynamic and vertical change of potassium in soil profile without potash application condition [J]. J. Huazhong Agric. Univ., 1998, 17(5): 452-458.
- [22] Singh M, Singh V P, Reddy D D. Potassium balance and release kinetics under continuous rice-wheat cropping system in Vertisol [J]. Field Crops Res., 2002, 77: 81-91.
- [23] Officer S J, Tillman R W, Palmer A S. Plant available potassium in New Zealand steep-land pasture soils [J]. Geoderma, 2006, 133: 408-420.
- [24] 范闻捷,介晓磊,李有田,等. 潮土区小麦—玉米轮作周期内土壤钾素的动态研究 II. 施钾对作物产量及土壤钾素动态的影响[J]. 华中农业大学学报, 1999, 18(5): 427-430.
Fan W J, Jie X L, Li Y T *et al.* Studies on dynamics of potassium in soil in wheat-maize rotated Chao soil region II. Effects of potash application on crop yield and dynamics of potassium in soil [J]. J. Huazhong Agric. Univ., 1999, 18(5): 427-430.