

施钾和秸秆还田对栗钙土区土壤养分及小麦产量的长期效应研究

谭德水¹, 金继运², 黄绍文², 陈占全³

(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;
3. 青海省农林科学院土壤肥料研究所, 青海 西宁 810016)

摘 要: 1993~2006 青海省栗钙土区施钾与小麦秸秆还田对耕层(0~20 cm)土壤钾素与其它养分指标以及小麦产量的长期影响定位试验结果表明: 长期施钾或秸秆还田处理土壤速效钾、缓效钾和全钾含量均高于长期不施钾处理(NP), 其中钾肥配合秸秆还田处理(NPK+St)三种类型钾含量均与 NP 处理差异显著; 施钾或秸秆还田可提高速效钾和缓效钾在全钾中的比例, 同时降低矿物钾的比例; 与原始土壤相比, 钾肥投入处理(NPK 与 NPK+St)的速效钾及 NPK+St 处理的缓效钾含量均高于原始土, 其它处理三种类型钾含量均不同程度低于原始土壤; 不同处理土壤钾素年均消耗 K₂O 在 175.5 kg/hm² 以上, 四个处理中只有 NPK+St 处理土壤钾素表现有盈余, 其钾素平衡系数为 1.55; 相比只施氮磷肥, 长期施钾或秸秆还田可降低土壤铵态氮、有效硫、钙、镁以及全磷的含量而提高有机质、有效磷、铜、铁、锰、锌以及全氮的含量, 影响程度不一; 定位 14 年间小麦产量基本不受施钾与秸秆还田措施的影响, 处理之间差异不显著。

关键词: 施钾; 秸秆还田; 土壤养分; 小麦产量; 长期效应

中图分类号: S143.3; S513.06 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0194-05

上世纪九十年代至今,我国北方一些地区施用钾肥增产的效果日趋明显,钾肥用量也逐年增多^[1~4]。西北大部分地区土壤钾素含量较高,供钾能力较强^[5],各地施钾水平参差不齐,该地区不施钾土壤钾素状况以及作物产量的变化尚无确切定论。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短期效果方面报道较多^[6~8],而定位于某一地块上研究施钾和秸秆还田对各形态钾素及对土壤肥力指标的长期影响报道较少,特别是在某些富钾的地块上尚无长期试验研究。为此,本项目利用钾肥和小麦秸秆还田的方式,针对青海栗钙土区典型种植制度(小麦一年一作),对小麦施钾的产量效应以及土壤养分变化作全面和系统

的研究,从可持续发展的角度为该地区典型农田土壤和主要作物的钾肥施用进行合理预测。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验始于 1993 年,由中国—加拿大钾肥农学发展项目资助实施,该定位点位于西北地区青海省农林科学院试验田,东经 101°49′17″,北纬 36°34′03″,属典型半干旱大陆性气候。粘土矿物含量为云母>绿泥石>石英>蛭石,土壤类型是栗钙土,质地粘壤,偏碱性,供钾能力高,种植制度为冬小麦一年一作,每年均用当地主推高产品种。定位开始时耕层土壤(0~20 cm)具体肥力状况见表 1。

表 1 1992 年定位点供试土壤(0~20 cm)基础肥力

Table 1 Details on fertility of soil in experimental site in 1992

土壤类型 Soil type	pH	阳离子交换量 CEC (cmol/kg)	全氮 Total N (%)	有机质 OM (%)	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	有效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
栗钙土 Chestnut soil	7.6	13.8	0.127	1.83	33.8	42.6	30.4	177.3

收稿日期: 2008-09-24

基金项目: 国际植物营养研究所(IPNI)中国项目; 国家科技支撑计划项目(2006BAD05B03)

作者简介: 谭德水(1978—),男,山东文登人,助研,博士,主要从事作物施肥与土壤养分管理方面的研究。E-mail: tandeshui@163.com。

通讯作者: 金继运(1950—),男,河南濮阳人,研究员,博士生导师。E-mail: jyjin@ipni-net。

试验设 4 个处理,均在充足的氮磷底肥下进行,具体施肥处理:① NP,② NP+St(小麦秸秆全部还田,下同),③ NPK,④ NPK+St。相应处理施 N 110 kg/hm²、P₂O₅ 55.2 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²。具体肥料: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,随机区组排列。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。每年作物收获时将小区作物全部收获测产,并将小麦秸秆称重后粉碎还田,另取少部分籽粒和秸秆样品烘干后粉碎过筛,进行钾含量测定。

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。2006 年最后一季作物收获时取 0~20 cm 土层土样,风干后过 2 mm 筛用于各有效养分的测定,风干后过 1 mm 筛用于土壤速效钾和缓效钾的测定,风干土过 0.25 mm 筛用于土壤全氮、全磷、全钾和有机质的测定。1992 年与 2006 年土壤样品各项目测定同时进行。

1.2 测定项目及方法

速效钾是当季作物可以吸收利用的主要土壤钾形态,是衡量土壤对当季作物供应钾素能力的重要指标,用 1 mol/L 中性醋酸铵溶液提取。

缓效钾是指易风化含钾矿物晶格内含有的钾和土壤内固钾矿物所固定的钾,是衡量土壤长时期供钾能力的指标,用 1 mol/L 硝酸溶液煮沸提取。

全钾:氢氧化钠熔融,提取出来的钾稀释后用原子吸收分光光度计测定

有机质:重铬酸钾氧化,容量法测定;铵态氮:KCl 溶液提取,比色测定;全氮:浓 H₂SO₄+催化剂消煮,用全自动凯氏定氮仪测定;速效磷:用 0.5

mol/L NaHCO₃ 浸提。钼锑抗比色测定;全磷:氢氧化钠熔融,钼锑抗比色法测定;有效硫:Ca(H₂PO₄)₂ 溶液浸提,比浊法测定;钙、镁用 KCl 溶液提取,铜、铁、锰、锌:ASI 联合提取剂提取,原子吸收分光光度计测定

植株钾含量测定:浓 H₂SO₄+H₂O₂ 联合消煮,原子吸收光度计测定

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

钾素平衡系数=年投入土壤钾素量(包括秸秆钾和化肥钾)/作物年吸收钾素量,用 DPS 3.01v 专业版软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 长期施钾及秸秆还田对耕层土壤各种形态钾含量及比例的影响

经过 14 年的不同施肥措施,2006 年小麦收获后各处理 0~20 cm 耕层土壤速效钾、缓效钾和全钾含量有明显的差异(表 2)。速效钾、缓效钾和全钾含量处理间均表现为:NPK+St>NPK>NP+St>NP,其它三个处理速效钾含量均与 NP 差异显著,两个处理(NPK+St 与 NPK)缓效钾含量与 NP 处理差异显著,NPK+St 处理全钾含量与其它三个处理差异均显著,另外三处理之间差异不显著。与定位开始(1992 年)相比,NPK+St 与 NPK 处理的速效钾含量高于原始土壤,NPK+St 处理的缓效钾含量高于原始土壤,四个处理土壤的全钾含量均不同程度低于原始土壤(NPK+St 处理与原始土壤含量相对持平)。

表 2 长期施钾和秸秆还田条件下 0~20 cm 土壤不同形态钾素含量时间变异状况

Table 2 Temporal variability status of different forms of potassium content in 0~20 cm soil under long-term application of K fertilizer and returning wheat straw to soil

处理 Treatment	速效钾 (mg/kg) Available K		缓效钾 (mg/kg) Slowly available K		全钾 (g/kg) Total K	
	1992	2006	1992	2006	1992	2006
NP		125.4 c		1310.2 c		19.5 b
NP+St	177.3	167.6 b		1373.3 bc		19.6 b
NPK		188.7 b	1429.8	1419.5 ab	20.0	19.7 b
NPK+St		261.5 a		1454.1 a		20.0 a

注:同一列不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著(LSD 法),下同。
Note: Different small letters in the same column mean significance at 5% level (LSD), same as below.

0~20 cm 耕层土壤速效钾、缓效钾和矿物钾占全钾的比例特点基本与含量状况相似(表 3)。速效钾占全钾的比例在 1%左右,缓效钾比例可达到 7%

左右。相比 NP 处理,长期施钾肥或秸秆还田均可不同程度提高土壤速效钾和缓效钾占全钾的比例,不同的是,施钾或秸秆还田处理的矿物钾比例均低

于 NP 处理,其中 NPK+St 处理矿物钾比例最低。与原始土壤(1992 年)相比,除 NPK 与 NPK+St 处理的速效钾和缓效钾比例以及 NP 与 NP+St 处理

的矿物钾比例高于原始土壤相应类型钾的比例外,其余处理各形态钾比例均低于原始土壤。

表 3 长期施钾和秸秆还田条件下 0~20 cm 土壤不同形态钾素比例时间变异状况
Table 3 Temporal variability status of different forms of potassium proportion in 0~20 cm soil under long-term application of K fertilizer and returning wheat straw to soil (%)

处理 Treatment	速效钾 Available K		缓效钾 Slowly available K		矿物钾 Mineral K	
	1992	2006	1992	2006	1992	2006
NP		0.64		6.72		92.64
NP+St	0.89	0.86	7.15	7.04	91.96	92.10
NPK		0.97		7.21		91.82
NPK+St		1.31		7.27		91.42

2.2 不同处理土壤钾素盈亏状况分析

小麦秸秆钾含量占植株钾素总含量的 80%以上(见表 4),是植物体中丰富的钾素资源^[9],施钾和秸秆还田均可显著增加秸秆吸钾量和小麦的总吸钾量,各处理小麦年均移走钾素(K₂O)为 175.5~218.5 kg/hm²,由于作物每年从土壤中带走大量的钾素,除 NPK+St 外其它三个处理都出现不同程度的钾素表观亏缺,钾素平衡系数均小于 1,而 NPK+St 处理钾素平衡系数能达到 1.55。

2.3 长期施钾及秸秆还田对耕层土壤肥力指标的影响

由表 5 可以看出,长期施钾与秸秆还田对栗钙

土区土壤造成一个相对稳定的化学环境,而这两种措施的应用对耕层土壤有机质、全氮、全磷以及各种有效养分含量的影响不尽一致。长期施钾对有机质含量的影响不明显,而秸秆还田则能明显增加有机质含量;两种措施均不同程度降低土壤铵态氮含量;相比秸秆还田,长期施钾更能提高土壤有效磷含量;施钾可小幅度提高土壤全氮含量但对全磷的作用相反;对土壤有效硫、有效钙、有效镁含量的影响基本一致,两种措施均会降低其在耕层土壤中的含量;对有效铜、铁、锰、锌的影响相同;长期秸秆还田相比施钾可较大幅度提高其在耕层土壤中的有效含量。

表 4 长期施钾与秸秆还田对小麦吸钾量和土壤钾素平衡的影响

Table 4 Effect of long-term application of K fertilizer and returning wheat straw to soil on wheat K uptake and soil K balance					
处理 Treatment	小麦秸秆钾量(K ₂ O) Quantity of K absorbed by wheat straw		年均总吸收钾(K ₂ O) Total quantity of K absorbed annually (kg/hm ²)	年均盈亏量(K ₂ O) Surplus and deficit annually (kg/hm ²)	钾素平衡 系数 Balance index of K
	数量(kg/hm ²) Quantity	比例(%) Proportion			
NP	144.6 c	82.4	175.5 c	—175.5	0
NP+St	166.3 b	84.8	196.0 b	—29.7	0.85±0.18
NPK	167.5 b	84.8	197.8 b	—47.8	0.76±0.12
NPK+St	188.9 a	86.5	218.4 a	120.5	1.55±0.28

表 5 长期施钾与秸秆还田对耕层(0~20 cm)土壤肥力指标的影响(2006)

处理 Treatment	有机质 OM (%)	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	有效磷 Available P (mg/kg)	有效养分 Available nutrient							全氮 Total N (%)	全磷 Total P (%)
				硫 S (mg/L)	钙 Ca (g/L)	镁 Mg (g/L)	铜 Cu (mg/L)	铁 Fe (mg/L)	锰 Mn (mg/L)	锌 Zn (mg/L)		
NP	1.9	38.0	26.8	3.9	2.11	0.15	1.9	9.6	6.7	1.6	0.12	0.12
NP+St	2.2	37.3	31.4	3.3	2.08	0.14	2.0	10.4	10.3	2.1	0.12	0.12
NPK	1.9	36.8	28.4	3.2	2.04	0.14	1.9	10.2	7.8	1.8	0.13	0.11
NPK+St	2.2	36.1	34.2	3.2	1.99	0.13	2.0	10.5	10.7	2.2	0.13	0.11

2.4 施钾与秸秆还田对小麦产量的长期效应

图 1 可以看出,从定位开始到 2006 年,虽然年份之间产量有差别,但施钾和小麦秸秆还田对小麦

产量基本不产生影响,从 1993 年至 2002 年以及 2004、2006 年各处理间小麦产量差异不显著,处理之间无明显规律。

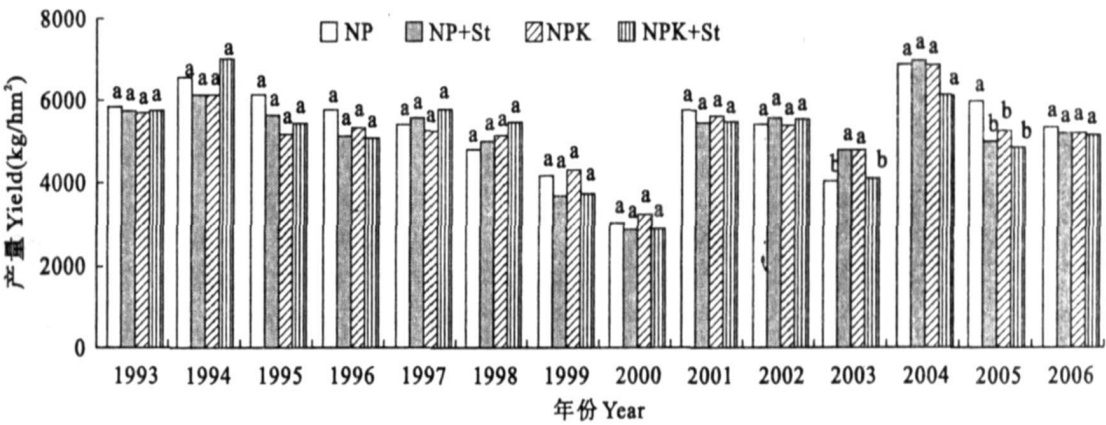


图 1 长期施钾和秸秆还田对青海点小麦产量的影响(kg/hm²)

Fig. 1 Effect of application of K fertilizer and returning straw to soil on wheat yield in Qinghai site

注:各年份方柱上不同字母表示差异达 5% 显著水平. Note: Different letters above the bars in the same year indicate significance at 5% level.

3 结论与讨论

中国北方土壤相比南方土壤钾素丰富,但北方地区也陆续出现一些土壤缺钾和作物施钾增产的报道^[2,10],由于供试土壤供钾能力较强^[5],青海小麦一年一作定位点施钾或秸秆还田产量效应不稳定,钾素没有表现出增产作用,绝大多数年份处理之间产量差异不显著。虽然钾素投入对作物产量没有显著影响,但从土壤钾素平衡的方面考虑,每年的钾素投入是必要的^[11]。小麦地上部分的携钾量与土壤钾素的平衡存在密切的关系^[12~14],年均移走大量的钾素使得试验四个处理中除 NPK + St 外均有不同程度的钾素亏缺。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。

施用钾肥和秸秆还田处理土壤速效钾、缓效钾及其在全钾中的比例均高于 NP 处理,而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以及矿物钾的释放从而削弱其比例^[15]。定位开始土壤速效钾水平相对较高,土壤钾素供应能力强,再加上每年只种植一季小麦,作物的吸收多数就集中于速效钾和缓效钾,因此与定位开始相比,大部分处理两种钾含量和比例均表现下降。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^[16],使各种形态钾保持一个动态平衡,另外由于作物的吸收、土壤钾的径流和向下迁移等途径的损

失^[17],各处理全钾含量较定位开始都有不同程度的降低,即使个别处理速效钾或缓效钾含量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,从节省资源的角度需秸秆还田配合钾肥施用来缓解土壤钾素的消耗。

由于氮磷钾的平衡施用和化肥配合秸秆还田对土壤物理结构的改善、减缓养分的流失以及秸秆还田补充土壤养分的长期作用^[18~20],相比只施氮磷肥处理,施钾或秸秆还田处理土壤铵态氮、有效硫、钙、镁以及全磷的含量表现下降,而有机质、有效磷、铜、铁、锰、锌以及全氮的含量表现上升。

参考文献:

[1] 金继运,高广领,王泽良,等.不同土壤钾素释放动力学及其供钾特征的研究[J].植物营养与肥料学报,1994,(1):39-48.
[2] 刘荣乐,金继运,吴荣贵,等.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.
[3] 王德芳,姚炳贵,高宝岩,等.津郊潮土长期定位试验中施钾效应研究[J].天津农业科学,2003,9(1):20-22.
[4] 姜益娟,郑德明,闫志顺,等.新疆棉花施钾效果研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):91-94.
[5] 黄绍文,金继运,程明芳,等.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.
[6] 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.
[7] 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.
[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 and Tillage Research*, 2003, 71(1): 59—69.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 李秋梅, 陈新平, 张福锁, 等. 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 陈 防, 鲁剑巍, 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 李新爱, 童成立, 蒋 平, 等. 长期不同施肥对稻田土壤有机质和全氮的影响[J]. *土壤*, 2006, 38(3): 298—303.
- [19] 詹其厚, 陈 杰. 基于长期定位试验的变性土养分持续供给能力和作物响应研究[J]. *土壤学报*, 2006, 43(1): 124—132.
- [20] 王慎强, 蒋其鳌, 钦绳武, 等. 长期施用有机肥与化肥对潮土土壤化学及生物学性质的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2001, 9(4): 67—69.

Study on effect of long-term application of K fertilizer and returning straw to soil on soil nutrient and wheat yield in the region of castanozem

TAN De-shui¹, JIN Ji-yun^{2*}, HUANG Shao-wen², CHEN Zhan-quan³

(1. *Soil and Fertilizer Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, Shandong 250100, China*;
2. *Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*;
3. *Soil and Fertilizer Institute, Qinghai Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Xining, Qinghai 810016, China*)

Abstract: Effect of application of K fertilizer and returning wheat straw to soil for continuous 14 years on soil potassium of 0~20 cm depth and other soil nutrient index and wheat yield in the region of castanozem in northwestern Qinghai was studied. The results showed that the content of available K, slowly available K and total K in treatments of K fertilizer application or straw returning were higher than that in NP treatment, and the content of three kinds of potassium showed significant difference between treatments of NPK+St and NP, K fertilizer and straw could improve the proportion of available K and slowly available K, however reduce the proportion of mineral K; Compared with the beginning of the experiment, the content of available K in treatments of NPK and NPK+St and slowly available K in treatment of NPK+St was higher than that in original soil separately, and others showed the contrary; The consumption of soil K was more serious, which could consume more than 175.5 kg/hm² K₂O annually, and except for treatment NPK+St, soil K was deficient in each treatment of the fixed site; Long-term application of K fertilizer and returning straw to soil could reduce the content of NH₄⁺-N, available S, available Ca, available Mg and total P, however increase the content of organic matter, available P, available Cu, available Fe, available Mn, available Zn and total N, and their change degrees were different; During 14 years, wheat yield had no relations with application of K fertilizer and returning wheat straw to soil, and yield showed no significant difference between treatments.

Key words: application of K fertilizer; returning wheat straw to soil; soil nutrient; wheat yield; long-term effect