植物营养与肥料学报 2014,20(5):1110-1118
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0507

施钾和秸秆还田对春玉米产量、养分吸收及土壤钾素平衡的影响

谢佳贵,侯云鹏,尹彩侠,孔丽丽,秦裕波,李 前,王立春*
(吉林省农业科学院农业资源与环境研究所,农业部东北植物营养与农业环境重点实验室,吉林长春 130033)

摘要:【目的】明确秸秆还田与施钾肥对玉米产量、养分吸收与利用以及土壤钾素平衡状况的影响,为东北地区玉米秸秆和钾肥资源合理利用提供科学依据。**【方法】**试验于2010～2012年在玉米主产区吉林省公主岭市朝阳坡镇大房身村开展,试验设氮磷肥(NP)、氮磷肥+秸秆还田(NP+St)、氮磷钾(NPK)、氮磷钾+秸秆还田(NPK+St)4个处理,于每年玉米成熟期每处理小区取有代表性的玉米5株,分为秸秆和子粒两部分,测定地上部干物重,并测定其氮、磷、钾含量,收获时取中间四垄玉米按14%水分计产。试验前和小区玉米收获后采集0—20 cm土层土壤样品,测定土壤速效钾含量,计算钾素利用等相关参数,分析不同处理的春玉米产量、养分吸收及土壤钾素平衡状况。**【结果】**施钾肥和秸秆还田能提高玉米产量,与NP处理相比,NPK+St、NPK、NP+St处理玉米产量分别增加13.8%、9.6%和3.8%。施钾肥和秸秆还田可提高玉米秸秆和子粒氮、磷、钾的吸收总量。与NP相比,NPK、NP+St和NPK+St处理氮的吸收总量提高9.4%～24.7%,磷提高12.2%～26.0%,钾提高6.9%～26.4%,其中NPK+St处理的养分吸收总量最高。秸秆还田结合施钾肥(NPK+St)有利于提高钾收获指数、化肥钾和秸秆钾的利用率,其钾收获指数,化肥钾农学效率、回收率、秸秆钾回收率均高于单施化学钾(NPK)和秸秆还田处理(NP+St)。其中钾收获指数分别提高5.5%和18.8%,化肥钾农学效率和回收率分别提高8.3%和1.1%,秸秆钾农学效率和回收率分别提高4.0%和0.7%。秸秆还田结合施用钾肥(NPK+St)土壤速效钾含量比NPK和NP+St提高1.9%～4.0%,其表现为NPK+St>NP+St>NPK>NP。NPK+St、NPK、NP+St处理钾素实际盈亏率分别为15.0%、-51.1%和-18.1%。**【结论】**秸秆还田结合施用钾肥不仅可以提高玉米产量、增加养分吸收总量,还有利于土壤钾素的收支平衡,提高土壤速效钾含量,对维持土壤钾素肥力的稳定具有重要的作用,可在当地农业生产中推广应用。

关键词:春玉米;产量;秸秆还田;土壤钾素;钾素平衡
中图分类号:S513.06 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-505X(2014)05-1110-09

Effect of potassium application and straw returning on spring maize yield, nutrient absorption and soil potassium balance

XIE Jia-gui, HOU Yun-peng, YIN Cai-xia, KONG Li-li, QIN Yu-bo, LI Qian, WANG Li-chun*
(*Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-Environment in Northeast Region, Ministry of Agriculture, Changchun, Jilin 130033, China*)

Abstract:【Objectives】A field experiment was conducted for three years (2010-2012) to research the effect of straw returning and potassium application on the yield, nutrient absorption of spring maize and the soil potassium balance, aiming to provide scientific basis for the rational use of corn straw and fertilizer in northeast china. **【Methods】**The experiment was located at the main maize producing zone, Chaoyangpo Town, Gongzhuling City, Jilin Province. The four treatments of NP, NP+St, NPK, NPK+St were set up with the consistent cultivation technique and field management. Five representative maize plants were collected from each plot at maturity stage

收稿日期:2013-10-2 **接受日期:**2014-02-20
基金项目:吉林省科技支撑计划重大项目(20106025);"十二五"国家科技支撑计划项目(2012BAD04B02,2013BAD07B14);国家"863"课题(2011AA100504)资助。
作者简介:谢佳贵(1972—),男,吉林省伊通县人,博士,研究员,主要从事植物营养与施肥研究。E-mail:xiejiagui@163.com
* 通信作者 Tel:0431-87063168, E-mail:wlc1960@163.com

every year and divided into two parts of straw and grain, dry mater were weighed. Total nitrogen, phosphorus and potassium contents were determined. The middle four ridges of maize were harvested for calculating yield (the moisture content of maize used is 14%). Soil samples of 0-20 cm depth were taken before the experiment and after maize harvest for the soil available potassium determination. The related parameters of potassium utilization characteristics were calculated, and the effect of potassium application and straw returning on spring maize yield, nutrient absorption and soil potassium balance was analyzed. **【Results】** Compared with no K (NP) treatment, the treatment of NPK + St, NPK and NP + St increase the yield of maize by 13.8%, 9.6% and 3.8% respectively. Combined application of potassium fertilizer and straw returning could increase maize N, P, K absorption amounts in straw and grain. Compared with NP treatment, NPK, NP + St and NPK + St treatments increase the nitrogen, phosphorus, and potassium uptake by 9.4% - 24.7%, 12.2% -26.0% and 6.9% -26.4%, respectively. The treatment of NPK + St leads to the highest total nutrient uptake. Combined application of potassium fertilizer and straw returning could increase potassium harvest index, potassium utilization rare in chemical fertilizer and straw. Compared with NPK and NP + St, NPK + St increase potassium harvest index, potassium agronomic efficiency of chemical fertilizer, the recovery rate of chemical potassium and the straw potassium content. The potassium harvest index were increased by 5.5% - 18.8%, the agronomic efficiency and recovery rate of chemical potassium were increased by 8.3% and 1.1% respectively, the agronomy efficiency and recovery rate of straw potassium were increased by 4.0% and 0.7% respectively. Straw returning with potassium fertilizer can improve the soil available potassium content, the increase range was 1.9% - 4.0% and increase order is NPK + St > NP + St > NPK > NP. The surplus of potassium of NPK + St, NPK and NP + St were 15.0%, -51.1% and -18.1%, respectively. **【Conclusions】** Maize straw returning combined with potash fertilizer application can not only increase maize yield and the total amount of nutrient uptake, but also sustain potassium balance and improve soil potassium storage, maintaining the stability of the soil potassium fertility. Therefore, the combined use of potassium fertilizer and maize straw returning should be extended widely in the tested agricultural production area.

Key words: spring maize; yield; straw returning; soil potassium; potassium balance

近年来,由于随着玉米高产品种的大面积种植,氮磷化肥施用量增加,有机肥施用量减少,土壤钾素亏缺严重[2-4]。作物秸秆含有丰富的氮、磷、钾元素和多种微量元素,通过秸秆还田,可有效提高土壤有机质含量,改善土壤物理性状,培肥地力,协调土壤中氮、磷、钾比例,达到蓄水保墒、控制水土流失、调节生态环境的目的[5-7],对提高作物产量有着重要作用。中国是秸秆产量大国,且随着农业综合生产能力的提高,秸秆产量也不断增长[8]。发展秸秆还田可充分利用秸秆资源,减轻焚烧秸秆对土壤生态系统的负面影响,对保护土壤环境、增加作物产量,实现农业可持续发展具有重要意义。

谭德水等[15]通过 13 年的定位试验认为,在西北地区秸秆还田配施钾肥可以缓解土壤钾素含量的降低; 刘荣乐等[17]研究发现,施用钾肥和小麦秸秆还田可以明显提高作物的吸钾量; 王宏庭等[18]研究了我国山西褐土区秸秆还田 16 年的效果,得出秸秆还田对山西地区作物均有明显的增产效应。但以上研究仅限于秸秆还田对作物钾素吸收和土壤钾素的影响,而关于秸秆还田和施钾对玉米氮、磷吸收的报道较少。为此在吉林省玉米主产区通过 3 年的定位试验,研究了秸秆还田与施用钾肥对玉米的增产效应,氮、磷、钾养分的吸收与利用以及土壤钾素平衡状况等方面的影响,旨在为东北地区秸秆和钾肥资源合理利用提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验于 2010 ~ 2012 年在玉米主产区吉林省公主岭市朝阳坡镇大房身村(124°44′48.9″E, 43°36′23.2″N)进行。该地区土壤类型为黑土,质地中壤,试验开始前 0—20 cm 耕层土壤有机质 22.49 g/kg、全氮 1.03 g/kg、速效氮 128.91 mg/kg、速效磷 83.67 mg/kg、速效钾 98.07 mg/kg、pH 6.21。小区面积 40 m^2,6 垄区,3 次重复,随机区组排列。供试玉米品种为先玉 335,种植密度 6.0×10^4 plant/hm^2。于 4 月 25 ~ 29 日播种,9 月 30 日前后收获。

试验设 4 个处理: 1)氮、磷肥(NP);2)氮、磷肥 + 秸秆还田(NP + St);3)氮、磷、钾肥(NPK);4)氮、磷、钾 + 秸秆还田(NPK + St)。氮肥用尿素(含 N

46%)，磷肥用重过磷酸钙(含 P_2O_5 46%)，钾肥用氯化钾(含 K_2O 60%)。氮、磷、钾肥施用量分别为 N 180 kg/hm²、P_2O_5 70 kg/hm²、K_2O 60 kg/hm²。1/3氮肥与全部磷、钾肥于播种前作基肥施入，2/3氮肥在拔节期追施。秸秆还田量为7000 kg/hm²，折合 K_2O 量为 90 kg/hm²，玉米收获后将秸秆粉碎，均匀撒施到地表，并立即翻埋。

1.2 测定项目与方法

在每年玉米成熟期采集玉米植株样本，每小区采取有代表性的玉米 5 株，分为秸秆和子粒两部分，于 105℃杀青 30 min 后，80℃烘箱中烘干至恒重，计算其地上部干物重。样本粉碎后，$H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮，全氮用凯氏定氮法，全磷用钼锑抗比色法，全钾用火焰光度计法进行测定。收获时取中间四垄玉米按 14% 水分计产。

小区收获时用土钻在各小区内按“S”型采集 0—20 cm 耕层土壤样品，8 个点混匀、风干后过 1 mm 筛，采用 1 mol/L 醋酸铵浸提—火焰光度计法测定土壤速效钾含量。

主要计算公式[18-24]：

钾收获指数(%) = 成熟期单位面积子粒钾素吸收量/植株钾素总吸收量 ×100

钾回收率(%) =(施钾区地上部吸钾量 - 无钾区地上部吸钾量)/施钾量 ×100

钾农学利用率(kg/kg) = (施钾区子粒产量 - 无钾区子粒产量)/施钾量

养分吸收量 = 成熟期单位面积植株养分含量(氮、磷、钾) ×植株总干物重

钾素平衡系数 = 投入土壤中的钾/带出土壤中的钾

钾素实际平衡率(%) =(输入钾 - 支出钾)/支出钾 ×100

试验数据用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 16.0 统计软件处理，处理间差异显著性用 LSD 法即最小显著差数法进行分析。

2 结果与分析

2.1 施钾与秸秆还田对春玉米产量的影响

作物产量是评价肥料施用效果和土地生产能力的重要参数[19]。由表 1 可以看出，施钾与秸秆还田对春玉米产量的影响在 2010 ～ 2012 年间虽然增产幅度不同，但趋势相同，各处理玉米平均产量表现为 NPK + St > NPK > NP + St > NP。NP + St 处理玉米产量较 NP 增加 1.5% ～ 5.2%，平均增产 3.8%；NPK 较 NP 增加 6.2% ～ 12.2%，平均增产 9.6%，施钾比秸秆还田对春玉米的增产率高出 2.5 倍，说明秸秆还田对玉米的增产效果不如钾肥。NPK + St 处理的玉米产量比 NP 增加 9.0% ～ 16.5%，平均增产 13.8%，增产率比 NP + St 和 NPK 处理分别提高 3.6 倍和 1.4 倍。由此可见，在施氮、磷肥的基础上秸秆还田并结合施钾的交互增产作用高于单纯秸秆还田或施钾肥。

表 1 不同施肥处理玉米子粒产量

Table 1 Grain yields of maize under different fertilizer treatments

处理 Treatments	产量 Yield (kg/hm²)				变异系数 (%) CV	增产率(%) Increasing rate
	2010	2011	2012	平均 Average		
NP	9747 b	9067 b	9380 b	9398 d	3.62	
NP + St	9892 b	9506 b	9867 b	9755 c	2.21	3.8
NPK	10353 a	10026 a	10527 a	10302 b	2.47	9.6
NPK + St	10620 a	10534 a	10926 a	10693 a	1.93	13.8

注(Note)：同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

作物产量年际间波动的变异系数是评价施肥制度优劣的重要指标之一。由表 1 还可以看出，NPK + St、NPK 和 NP + St 处理的变异系数较 NP 降低了 1.15% ～ 1.69%，变异系数表现为 NPK + St < NP + St < NPK < NP，说明秸秆还田和施用钾肥均可提高玉米产量的稳定性。在施氮、磷的基础上，单纯秸秆还田对产量的稳定性好于单施钾肥，秸秆还田结合施钾玉米产量的稳定性最好。

2.2 施钾与秸秆还田对春玉米养分积累的影响

图 1 显示，施钾肥和秸秆还田可以提高玉米秸

秆和子粒的氮、磷、钾吸收总量。与 NP 处理相比,NP + St、NPK 与 NPK + St 处理的氮、磷、钾吸收量均有不同程度的提高,并达到显著水平,提高幅度分别为 9.4% ～ 24.7%、12.2% ～ 26.0% 和 6.9% ～ 26.4%。NPK 处理的氮、磷、钾吸收量均高于 NP + St。其中氮、钾的吸收量达到显著水平,秸秆氮、磷、钾吸收量分别提高了 5.6%、7.7% 和 7.0%,子粒氮、磷、钾吸收量分别提高了 10.7%、4.5% 和 25.5%。说明相对于秸秆中的钾,化肥钾更易被作物吸收与利用,从而更好地促进春玉米对氮、磷等养分的吸收;与 NPK 相比,NPK + ST 处理的氮、磷、钾养分吸收量均有所提高,秸秆氮、磷、钾吸收量分别提高了 6.4%、12.5% 和 4.4%,子粒氮、磷、钾吸收量分别提高了 3.7%、5.8% 和 12.1%。由此可见,秸秆还田结合施钾的交互作用对玉米的养分吸收量的提高幅度高于单纯秸秆还田或施钾肥。

2.3　施钾肥与秸秆还田对春玉米钾肥利用效率的影响

表 2 表明,秸秆还田结合施钾肥(NPK + St)的钾收获指数、化肥钾农学效率和回收率、秸秆钾回收率均高于单施钾肥(NPK)和秸秆还田(NP + St)处理。钾收获指数分别提高 5.5% 和 18.8%,化肥钾农学效率和回收率分别提高 8.3% 和 1.1%,秸秆钾农学效率和回收率分别提高 4.0% 和 0.7%,虽然没有达到显著水平,但有一定的提高效果。由此可见,秸秆还田结合施钾肥可促进玉米对化肥钾和秸秆钾的吸收和利用,减少钾素损失,从而提高钾肥的利用率和钾收获指数。

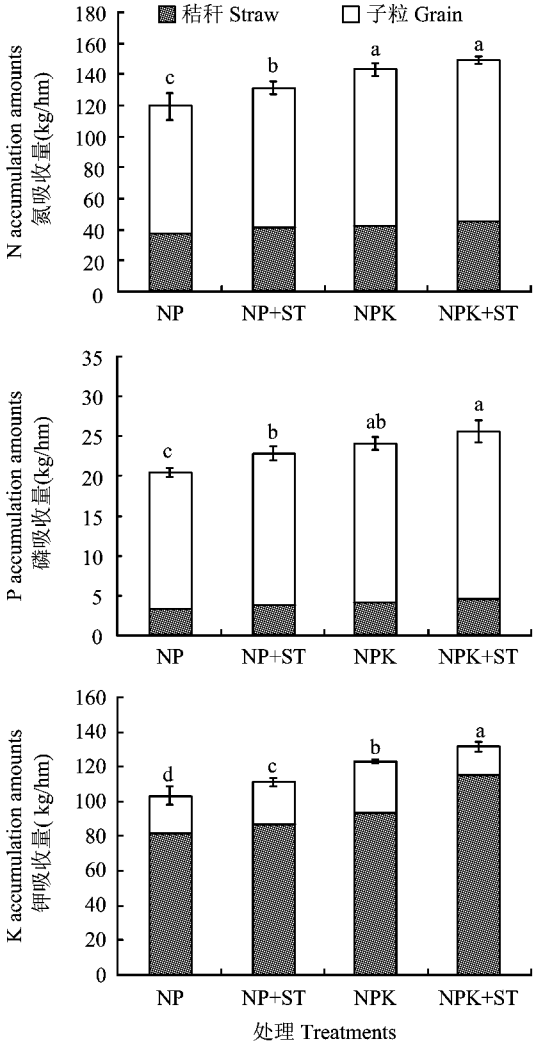

图 1　成熟期不同处理玉米养分吸收量(3 年平均)

Fig. 1　The uptake of N, P and K fertilizer by maize at mature stage (average of the three years)

[注(Note):柱上不同字母表示处理间差异达 5% Different letters above the bars mean significant among treatments at the 5% level.]

表 2　秸秆还田对化学钾和秸秆钾的利用效率的影响(2010 ～ 2012)

Table 2　Effect of straw returning on the utilization efficiency of chemical K and straw K

处理 Treatments	钾收获指数 K harvest index (%)	化肥钾 Chemical K		秸秆钾 Straw K	
		农学效率(kg/kg) Agronomy efficiency	回收率(%) Recovery efficiency	农学效率(kg/kg) Agronomy efficiency	回收率(%) Recovery efficiency
NP	21.9 b				
NP + St	22.4 b			10.0 a	7.9 a
NPK	25.2 a	6.0 a	32.4 a		
NPK + St	26.6 a	6.5 a	33.5 a	10.4 a	8.6 a

注(Note):结果为三年的平均值 The data is average of 3 years;同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

2.4 施钾肥与秸秆还田对土壤钾素表观平衡的影响

依据鲁如坤等[25]提出的“养分允许平衡盈亏率”方法和原则,利用近年来在研究区域开展的玉米田间钾肥试验结果,计算出本区域内玉米钾素允许平衡盈亏率为-47.8%。由表3可以看出,单施钾肥(NPK)处理的土壤钾素的表观盈亏量为-60.2～-64.6 kg/hm^2,3年亏缺合计188.1 kg/hm^2,平衡系数为0.49,实际平衡盈亏率为-51.1%,低于允许平衡盈亏率,降幅为3.3%。而秸秆还田(NP+St)处理的表观盈亏量为-18.1～-21.9 kg/hm^2,3年亏缺合计61.1 kg/hm^2,平衡系数为0.82,实际平衡盈亏率为-18.5%,虽然亏缺率在允许平衡盈亏率的范围内,但只能减缓钾素的耗竭,而秸秆还田结合施钾肥(NPK+St)处理的土壤钾素表现为盈余状态,表观盈亏量为17.4～23.6 kg/hm^2,3年盈余共计58.6 kg/hm^2。平衡系数为1.15,实际平衡盈亏率为15.0%,处理盈余状态。由此可见,单施钾肥或秸秆还田均难以维持土壤钾素的平衡,长期下去不仅会导致土壤钾素不断耗竭,使土壤供钾能力下降,而且还会使作物因土壤缺钾降低抗旱、抗病、抗寒和抗倒伏能力,进而造成玉米产量和品质的降低。而秸秆还田结合施钾肥可以使土壤中的钾素得到补充,使土壤钾保持动态平衡,从而可促进玉米的生长发育,获得高产。

表3 施用钾肥与秸秆还田对钾素表观平衡的影响

Table 3 Effect of K fertilizer application and straw returning on potassium apparent balances

年份 Year	处理 Treatments	钾肥用量(kg/hm^2) K application amount		作物钾移走量 Plant K removal (kg/hm^2)	钾素表观盈亏量 Surplus of K (kg/hm^2)	钾平衡系数 K balance index	钾实际平衡率 Surplus of K (%)
		化学钾 Chemical K	秸秆钾 Straw K				
2010	NP	0	0	107.4 b	-107.4 d	0.00	-100.0
	NP+St	0	90	111.1 b	-21.1 b	0.80	-19.7
	NPK	60	0	120.2 a	-60.2 c	0.49	-50.9
	NPK+St	60	90	126.4 a	23.6 a	1.19	18.7
2011	NP	0	0	97.9 d	-97.9 d	0.00	-100.0
	NP+St	0	90	108.1 c	-18.1 b	0.84	-16.0
	NPK	60	0	124.6 b	-64.6 c	0.49	-51.1
	NPK+St	60	90	132.6 a	17.4 a	1.13	13.1
2012	NP	0	0	104.4 d	-104.4 d	0.00	-100.0
	NP+St	0	90	111.9 c	-21.9 b	0.80	-19.6
	NPK	60	0	123.3 b	-63.3 c	0.49	-51.3
	NPK+St	60	90	132.5 a	17.5 a	1.13	13.2
3年总计 Total of 3 years	NP	0	0	309.7 d	-309.7 d	0.00	-100.0
	NP+St	0	270	331.1 c	-61.1 b	0.82	-18.5
	NPK	180	0	368.1 b	-188.1 c	0.49	-51.1
	NPK+St	180	270	391.4 a	58.6 a	1.15	15.0

注(Note):同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

2.5 施钾与秸秆还田对0—20 cm土壤速效钾含量的影响

由图2可以看出,在2010年的试验中,施钾和秸秆还田的3个处理速效钾含量与NP处理的差异不显著;2011年,NPK+St处理的速效钾含量显著高于NP、NP+St和NPK;2012年NP+St和NPK+

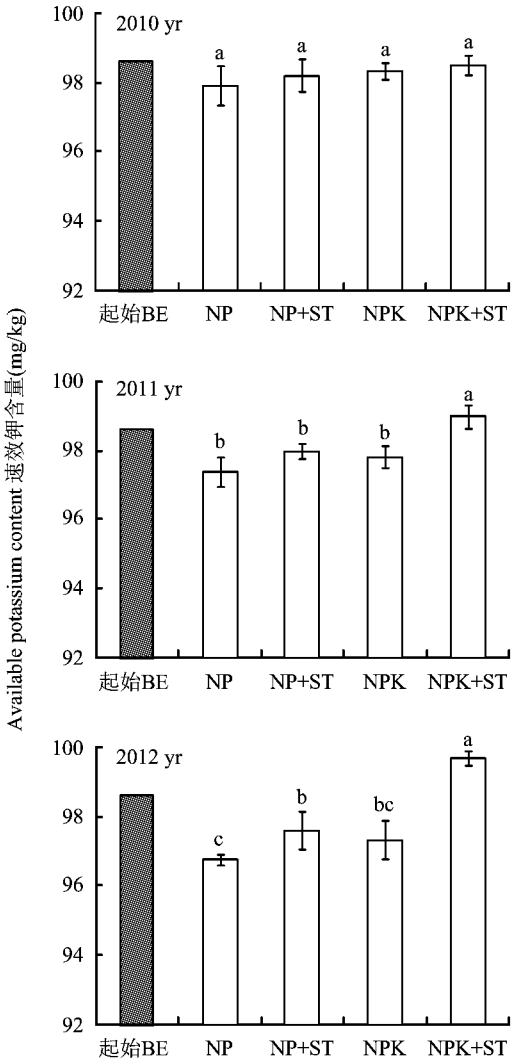

图 2　施钾和秸秆还田对不同处理土壤速效钾含量的影响(2010～2012)

Fig. 2　Effect of potassium fertilization and straw returning on soil available potassium content

[注(Note):BE—Before experiment. 柱上不同字母表示处理间差异达5% Different letters above the bars mean significant among treatments at the 5% level.]

St 处理的土壤速效钾含量高于 NP 处理,提高幅度为 1.91%和 4.04%,NPK 处理的速效钾含量与 NP 处理无显著差异。

经过 3 年的定位试验,各处理 0—20 cm 土壤速效钾含量与试验前有较大的差异,与试验前起始土壤速效钾含量相比,NP、NP + St 和 NPK 处理的速效钾含量均有不同程度的下降,其中以 NP 处理下降幅度最大,为 2.91%,其次为 NPK 处理,降幅为 1.31%,降幅最小的是 NP + St 处理,为 1.05%。说明由于玉米对土壤钾素的不断的吸收,单施钾肥或秸秆还田不能阻止土壤中速效钾的亏缺,只能在一定程度上缓解其下降,而秸秆还田结合施钾肥可以为土壤补充大量的钾素,以供应玉米正常生长发育所需和解决因作物吸收对土壤钾素的消耗,使土壤速效钾含量得到提高,从而提高土壤的供钾能力

3　讨论与结论

刘荣乐等[17]对我国北方土壤—作物系统内钾素平衡及钾肥肥效研究结果表明,单施钾肥、秸秆还田和秸秆还田配施钾肥对华北地区小麦和玉米均有显著的增产效应。孙丽敏等[20]研究表明,小麦 - 玉米在连续秸秆还田条件下能够增加作物产量,其中秸秆与化肥配施增产效果最好。本研究结果表明,施用钾肥和秸秆还田均能显著提高玉米产量,单施钾肥对玉米的增产效果要好于单施秸秆,秸秆还田与施用钾肥的交互增产作用高于秸秆还田或单施钾肥,年际间的稳定性也最好。这与谭德水等[26]在潮土和褐土上的研究结果趋势基本一致。主要是由于秸秆中的钾需要腐解被水溶解后才能释放出来,增加土壤速效钾含量,但在东北地区秸秆在玉米生育期不能完全腐解,因此秸秆中的钾不能满足玉米正常生长发育对钾素的需求,所以秸秆钾对玉米的增产作用低于化学钾,由此可见,仅靠秸秆中的钾代替化肥钾提高春玉米产量并不可行,秸秆还田结合施钾肥是提高玉米产量的重要措施。

养分吸收量是玉米产量形成的基础,它的高低直接影响玉米产量和肥料利用效率。本研究中,施钾肥和秸秆还田可以提高玉米秸秆和子粒氮、磷、钾的吸收总量,单施钾肥玉米养分吸收量好于单纯秸秆还田,秸秆还田与施钾肥的交互作用对玉米养分吸收量的提高幅度最大。因此,秸秆还田结合施钾肥对促进玉米氮、磷、钾等养分吸收与积累的效果最好。

钾收获指数和钾利用效率反映其对玉米生物量和子粒产量的贡献。研究表明,施钾肥和秸秆还田可显著提高小麦和玉米钾素吸收总量,并能提高钾肥利用效率[12,28]。本研究结果与之基本一致,秸秆还田结合施钾肥处理的钾收获指数、化肥钾和秸秆钾的农学利用效率、钾肥回收率均得到提高,主要是由于秸秆中不仅含有钾元素,还含有氮、磷元素和多种微量元素,还田后可以提高土壤肥力,慕平等[9]研究表明,经过三年的秸秆全量还田,土壤有机质提高了 1.03 g/kg,全氮含量提高了 0.29 g/kg。另外,秸秆还田还可改善土壤的物理性状,魏廷举[28]的试验发现,秸秆还田三年,耕层土壤容重降低了 0.2 ～

0.19 g/cm^3,非毛管孔隙增加了0.5%～3.0%。良好的土壤耕作环境和养分基础为春玉米生长发育提供了比较平衡、稳定的养分供应,从而提高了化肥钾和秸秆钾的利用率,获得更高的子粒产量。

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关系[29-30]、李玉影等[31]研究表明,在东北黑土区,氮、磷的平衡系数分别为0.92和1.06,养分收支况较为平衡,钾素的平衡系数仅为0.42,钾素处于严重亏缺状态。谭德水等[32]在辽宁、吉林、黑龙江3个试验点的黑土上进行了13年的定位试验,其结果表明,只施氮、磷肥使土壤钾素严重亏缺,钾年均亏缺量辽宁为135.8 kg/hm^2、吉林为89.7 kg/hm^2,黑龙江为71.7 kg/hm^2。在本试验条件下,单施钾肥处理的钾年均亏缺量为63.9 kg/hm^2,处于严重亏缺。单施秸秆处理的钾年均亏缺量为25.4 kg/hm^2,平衡系数为0.78,尽管较养分允许平衡盈亏率低,在短期内可以维持土壤钾的平衡,但土壤钾素长期处于亏缺状况,会加剧土壤钾的耗竭风险。而秸秆还田结合施钾肥处理的钾年均盈亏量为22.8 kg/hm^2,平衡系数为1.18%,土壤钾素有盈余。由此可见,秸秆还田结合施钾肥是解决土壤钾素亏缺的有效措施。

土壤中的钾分为矿物钾、缓效钾和速效钾三种形态,矿物钾和缓效钾难以被植物吸收利用,而速效钾则可以直接被作物吸收和利用,因此土壤速效钾含量是评价土壤供钾水平的重要指标之一[33]。王志勇等[12]研究表明,与NP处理相比,NP+St、NPK和NPK+St处理0—20 cm土壤中的速效钾含量均有很大的提高,王宏庭等[18]研究表明,与NP处理相比,NP+St、NPK和NPK+St处理的土壤速效钾含量均显著提高,本研究结果与之大致相同,NP+St、NPK和NP+St处理的速效钾含量较NP相比,提高幅度为1.9%～4.0%,与试验前起始土壤速效钾含量相比,除NPK+St处理外,NP、NPK、NP+St处理均有不同程度的下降,NP处理下降了2.91%,NPK下降了1.31%,NP+St下降了1.05%。而秸秆还田结合施钾肥处理的速效钾含量提高了1.07%,说明单纯施钾肥或秸秆还田并不能解决因作物吸收而导致土壤钾素消耗的问题,而秸秆还田结合施钾肥可以维持土壤钾库的平衡。

综上所述,在本试验条件下,在吉林省黑土上秸秆还田量为7000 kg/hm^2,结合施用K_2O 60 kg/hm^{2}对提高玉米产量,增加成熟期春玉米养分的吸收总量,维持土壤钾素平衡,增加土壤的供钾能力均具有十分重要的作用,可在当地农业生产中推广应用。另外,本文仅对东北黑土区施用钾肥与秸秆还田对作物产量、养分吸收及钾素平衡等方面通过三年的定位试验进行了初步探讨,关于秸秆还田对土壤的矿物钾、缓效钾、速效钾之间的动态平衡关系的影响及对土壤钾库特征的长期影响有待进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 崔金虎.黑土供钾能力与玉米吸钾特性的研究[D]. 长春: 吉林农业大学硕士论文, 2002.
Cui J H. Research on supplying potassium ability and potassium absorption characteristics of corn [D]. Changchun: Ms thesis, Jilin Agricultural University, 2002.

[2] 姬景红, 李玉影, 刘双全, 等. 平衡施肥对大豆产量及土壤-作物系统养分收支平衡的影响[J]. 大豆科学, 2009, 28(4): 678-682.
Ji J H, Li Y Y, Liu S Q *et al.* Effect of balanced fertilization on yield of soybean and nutrients balance of soil-crop system [J]. Soybean Science, 2009, 28(4):678-682

[3] 黄绍文, 金继运, 杨俐苹, 等. 分区平衡施肥技术对氮肥利用率和土壤养分平衡的影响[J]. 土壤肥料, 2002, 12(6): 3-7.
Huang S W, Jin J Y, Yang L P *et al.* Effect of the regionalized balanced fertilization technique on nitrogen fertilizer utilization efficiency and soil nutrient balance [J]. Soils Fertilizer, 2002, 12(6): 3-7.

[4] 姬景红, 李玉影, 刘双全, 等. 平衡施肥对玉米产量、效益及土壤-作物系统养分收支的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010, (4): 37-41.
Ji J H, Li Y Y, Liu S Q *et al.* The effect of balanced fertilization on yield, benefit of corn and nutrient balance [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2010, (4): 37-41.

[5] 申源源, 陈宏. 秸秆还田对土壤改良的研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19): 291-294.
Shen Y Y, Chen H. The progress of study on soil improvement research with straw stalk [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(19): 291-294.

[6] 龚朝凤, 王建新, 陈兴位, 等. 农作物秸秆综合利用现状与还田技术[J]. 科技创新导报, 2008, (9): 251-251.
Gong C F, Wang J X, Chen X W *et al.* Comprehensive utilization and technology of crop straw returning to fields [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2008, (9): 251-251.

[7] 彭祖厚. 秸秆还田在培肥地力中的作用[J]. 土壤肥料, 1988, (2): 113-115.
Peng Z H. The role of straw returning on fertilizes soil fertility [J]. Soil and Fertilizer, 1988, (2): 113-115.

[8] 汪炎炳. 秸秆还田培肥改土试验研究[J]. 土壤通报, 1991, 2(4): 171-175.
Wang Y B. The experimental research on strawreturning and fertilizessoil fertility [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1991, 22(4): 171-175.

[9] 慕平, 张恩和, 王汉宁, 方永丰. 不同年限全量玉米秸秆还田对玉米生长发育及土壤理化性状的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(3): 291-296.
Mu P, Zhang E H, Wang H N, Fang Y F. Effects of continuous straw return to soil on maize growth and soilchemical and physical characteristics[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(3): 291-296

[10] 徐萌, 张玉龙, 黄毅, 等. 秸秆还田对半干旱区农田土壤养分含量及玉米光合作用的影响[J]. 半干旱区农业研究, 2012, 30(4):153-156.
Xu M, Zang Y L, Huang Y. Effects of returning straw to field on soil nutrient content and corn photosynthesis in semiarid region [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2012, 30(4):153-156.

[11] 高利伟,马林,张卫峰,等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-179.
Gao L W, Ma L, Zhang W F *et al.* Estimation of nutrient resource quantity of crop straw and its utilization situation in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(7): 173-179.

[12] 王志勇, 白由路, 高进华, 等. 秸秆还田与施钾对华北低产潮土区作物产量及土壤钾素的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013, 4(2): 46-50.
Wang Z Y, Bai Y L, Gao J H *et al.* Effect of straw returned to soil and application of potassium fertilizer on crops yield and soil potassium in the low fertility of efluvo-aquic soil in North China [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2013, 4(2): 46-50.

[13] 贝方玲, 赵代弟, 秦慧琳, 等. 秸秆还田对土壤肥力影响试验初报[J]. 广西农学报, 2011, 26(5): 8-11.
Bei F L, Zhao D D, Qin H L *et al.* An experiment report of straw-field-returning's impact on soil fertility [J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2011, 26(5):8-11.

[14] 刘天学, 纪秀娥. 焚烧秸秆对土壤有机质和微生物的影响研究[J]. 土壤, 2003, 35(4): 347-348.
Liu T X, Ji X E. Effects of crop straw burning on soil organic matter and soil microbes[J]. Soils, 2003, 35(4): 347-348.

[15] 谭德水, 金继运, 黄绍文, 等. 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[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 886-893.
Tan D S, Jin J Y, Huang S W *et al.* 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[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(5): 886-893.

[16] 杨宪龙, 路永莉, 同延安. 施氮和秸秆还田对小麦-玉米轮作农田硝态氮淋溶的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(3): 134-143.
Yang X L, Lu Y L, Tong Y A. Effects of N application and straw returning on N leaching under wheat-maize rotation system[J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(3):134-143.

[17] 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.
Liu R L, Jin J Y, Wu R G *et al.* Study on the characteristics of potassium cycling in different soil-crop systems in northern China [J]. Plant Nutrition Fertilizer Science, 2000, 6(2):123-132.

[18] 王宏庭, 金继运, 王斌, 等. 山西褐土长期施钾和秸秆还田对冬小麦产量和钾素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010,16(4): 801-808.
Wang H T, Jin J Y, Wang B *et al.* Effects of long-term potassium application and wheat straw return to cinnamon soil on wheat yields and soil potassium balance in Shanxi [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(4): 801-808.

[19] 沙之敏, 边秀举, 郑伟, 等. 最佳养分管理对华北冬小麦养分吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5):1049-1055.
Sha Z M, Bian X J, Zheng W *et al.* Effects of optimum nutrient management on nutrient uptake and utilization of winter wheat in North China Plain [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(5): 1049-1055.

[20] 孙丽敏, 李春杰, 何萍, 等. 长期施钾和秸秆还田对河北潮土区作物产量和土壤钾素状况的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 1096-1102.
Sun L M, Li C J, He P *et al.* Effects of long-term K application and straw returning on crop yield and soil K status in fluvo-aquic soil of Hebei Province [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(5): 1096-1102.

[21] 郑伟, 何萍, 高强, 等. 施氮对不同土壤肥力玉米氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 301-309.
Zheng W, He P, Gao Q *et al.* Effect of N application on nitrogen absorption and utilization of spring maize under different soil fertilities[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(2): 301-309.

[22] 王宜伦, 杨素芬, 韩燕来, 等. 钾肥运筹对砂质潮土冬小麦产量、品质及土壤钾素平衡的影响[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(5): 861-866.
Wang Y L, Yang S F, Han Y L *et al.* Effect of potassium fertilizer application on the yield, quality of winter wheat and soil available k balance in sandy chao soil[J]. Journal of Triticeae Crops, 2008, 28(5): 861-866.

[23] 谭金芳, 介晓磊, 韩燕来, 等. 潮土区超高产麦田供钾特点与小麦钾素营养研究[J]. 麦类作物学报, 2001, 21(1): 45-50.
Tan J F, Jie X L, Han Y L *et al.* Study on potassium supplying properties in super-high yield wheat field in Chao soil region and potassium nutrition characteristics of wheat [J]. Journal of Triticeae Crops, 2001, 21(1): 45-50.

[24] 徐国伟, 谈桂露, 王志琴, 等. 秸秆还田与实地氮肥管理对直播水稻产量、品质及氮肥利用的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2736-2746.
Xu G W, Tan G L, Wang Z Q *et al.* Effects of wheat-residue application and site-specific nitrogen management on grain yield

and quality and nitrogen use efficiency in direct-seeding rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(8): 2736-2746.

[25] 鲁如坤,刘鸿翔,闻大中,等.我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究IV.农田养分平衡的评价方法和原则[J].土壤通报, 1996, 27(5): 197-199.
Lu R K, Liu H X, Wen D Z *et al.* Study on agro-ecosystem nutrient cycling and balance on the typical areas of China IV. Evaluation methods and principles of farmland nutrient balance [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1996, 27(5):197-199.

[26] 谭德水,金继运,黄绍文,等.长期施钾与秸秆还田对华北潮土和褐土区作物产量及土壤钾素的影响[J].植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 106-112.
Tan D S, Jin J Y, Huang S W *et al.* Effect of long-term application of potassium fertilizer and wheat straw to soil on yield of crops and soil potassium in fluvo-aquic soil and brown soil of northcentral China[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(1): 106-112.

[27] 王志勇,白由路,杨俐苹,等.低土壤肥力下施钾和秸秆还田对作物产量及土壤钾素平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2012, 18(4): 900-906.
Wang Z Y, Bai Y L, Yang L P *et al.* Effects of potassium fertilizer and straw returning on crop yields and soil potassium balance in low-yielding fields[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(4): 900-906.

[28] 魏廷举,程乐圃,朱丽娜.秸秆还田的经济效益分析及其措施[J].农机化研究, 1990, (2): 48-52.
Wei Y J, Cheng L P, Zhu L N. Analysis and measures of the economic benefits of straw returned[J]. Agricultural Mechanization Research, 1990, (2): 48-52.

[29] 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.
Li Q M, Chen X P, Zhang F S *et al.* Study on balance of phosphorus and potassium in winter wheat and summer maize rotation system[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(2): 152-156.

[30] 索东让,王托和,李多忠,等.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 *et al.* A long-term study on the effect and balance of potassium[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(3): 90-92.

[31] 李玉影,刘双全,姬景红,等.玉米平衡施肥对产量、养分平衡系数及肥料利用率的影响[J].玉米科学, 2013, 21(3): 120-124.
Li Y Y, Liu S Q, Ji J H *et al.* Effect of balanced fertilization on yield, nutrient balance coefficient and fertilizer use efficiency of corn [J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(3): 120-124.

[32] 谭德水,金继运,黄绍文,等.长期施钾对东北春玉米产量和土壤钾素状况的影响[J].中国农业科学, 2007, 40(10): 2234-2240.
Tan D S, Jin J Y, Huang S W *et al.* Effect of long-term application of k fertilizer on spring maize yield and soil k in northeast china[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(10): 2234-2240.

[33] 赵兰坡,刘淑霞,李月芬,等.吉林省主要耕作土壤中钾素营养状况与钾肥的合理施用[J].吉林农业大学学报, 2000, 22(S1): 102-105.
Zhao L P, Liu S X, Li Y F *et al.* Potassium nutrition and reasonable potash fertilizer application on the main cultivated soils in Jilin province[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2000, 22(S1):102-105.