

秸秆还田对双季稻产量和土壤钾素平衡的影响

孙志祥¹, 韩 上^{2,3}, 武 际^{2,3}, 李 敏^{2,3}, 王 慧^{2,3}, 程文龙^{2,3}, 唐 杉^{2,3}, 朱 林¹

(¹安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036; ²安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 合肥 230031;

³养分循环与资源环境安徽省重点实验室, 合肥 230031)

摘 要:探究秸秆还田对水稻产量和土壤钾素平衡的效应,为安徽双季稻区秸秆还田和钾素合理利用提供科学依据。本试验于2013—2015年在安徽省桐城市进行,试验共设置5个处理,分别为:不施肥(CK)、不施肥+秸秆还田(CK+S)、氮磷钾(NPK)、氮磷钾+秸秆还田(NPK+S)、氮磷+80%钾+秸秆还田(NP+80%K+S)。结果显示:无论是在施肥和不施肥条件下,秸秆还田对水稻产量都没有显著负效应,而且秸秆还田替代20%化学钾肥不会减少水稻产量;CK+S、NPK和NPK+S处理的钾素表观平衡系数分别为0.90、0.48、1.40,说明单施化肥不能减缓作物对土壤钾素的消耗,秸秆还田可以显著提高土壤速效钾含量,有利于土壤钾素的收支平衡,对维持当地土壤钾素水平具有重要意义。

关键词: 秸秆还田; 双季稻; 产量; 钾素平衡

中图分类号:S147.5

文献标志码:A

论文编号:casb18110052

Effect of Straw Returning on Yield and Soil Potassium Balance of Double Cropping Rice

Sun Zhixiang¹, Han Shang^{2,3}, Wu Ji^{2,3}, Li Min^{2,3}, Wang Hui^{2,3}, Cheng Wenlong^{2,3}, Tang Shan^{2,3}, Zhu Lin¹

(¹School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

²Soil and Fertilizer Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031;

³Anhui Provincial Key Laboratory of Nutrient Recycling, Resources & Environment, Hefei 230031)

Abstract: Field experiments were carried out to explore the effects of straw returning on rice yield and soil potassium balance, to provide a basis for straw returning and potassium use in double cropping rice area. The experiments were set in Tongcheng, Anhui in 2013 to 2015 with five treatments, including no fertilization (CK), no fertilization + straw returning (CK + S), fertilization (NPK), fertilization + straw returning (NPK + S) and nitrogen and phosphorus + 80% potassium + straw returning (NP+80%K+S). The results showed that there was no significant negative effect on rice yield among these treatments, and the rice yield under NP+80%K+S was not reduced. The apparent balance coefficient of potassium of CK+S, NPK and NPK+S was 0.90, 0.48 and 1.40, respectively. These results indicate that the application of chemical fertilizer can not inhibit the consumption of potassium by crops. The straw returning can increase the content of soil available potassium significantly, and improve the balance of soil potassium, which is important to maintain the local soil potassium level.

Keywords: straw returning; double cropping rice; yield; potassium balance

基金项目:安徽省科技重大专项“皖江稻区主要农作物化肥减施增效技术模式构建与应用”(17030701055);安徽省重点研究与开发计划项目“稻田亚耕层土壤培肥技术研究”(1704e1002237);安徽省农业科学院科研项目“稻区绿肥新品种选育利用技术研究”(18C1020);国家青年科学基金项目“绿肥翻压下双季稻区稻田土壤磷素形态转化及机理研究”(41807106);安徽省国际科技合作计划项目“基于砂姜黑土作物根际微生物的土壤生物培肥技术与应用”(1604b0602022)。

第一作者简介:孙志祥,男,1994年出生,安徽六安人,硕士,研究方向:作物高效施肥技术。通信地址:230031 安徽省合肥市农科南路40号 创新大楼安徽省农业科学院土壤肥料研究所,Tel:0551-65149156,E-mail:sunzhixiang915@163.com。

通讯作者:武际,男,1974年出生,安徽六安人,研究员,博士,研究方向:土壤养分高效利用。通信地址:230031 安徽省合肥市农科南路40号 创新大楼安徽省农业科学院土壤肥料研究所,Tel:0551-65149156,E-mail:wuji338@163.com。

收稿日期:2018-11-15,修回日期:2019-01-18。

0 引言

农作物秸秆是农业生产中的主要副产物之一。据统计,2015年中国主要农作物秸秆资源量为71878.53万t^[1]。秸秆中蕴藏着的丰富的养分资源,所含钾(K₂O)养分资源总量达到1000万t以上^[2]。中国耕地土壤普遍缺钾,严重缺钾的土壤(速效钾<50 mg/kg)和一般缺钾的土壤(速效钾为50~70 mg/kg)总计大于2000万hm²,约占全国耕地面积的23%^[3]。同时中国钾资源匮乏,需要依靠进口钾肥解决大面积缺钾问题,每年都要消耗大量的外汇^[4]。面对日益严重的土壤缺钾问题,针对不同土壤类型和不同种植制度地区,需要寻找除化学钾肥以外的对土壤钾的有效补充手段^[5]。有关秸秆还田对作物产量效应已有较多报道,但研究结果不尽相同^[6-10]。为了进一步明确秸秆还田对水稻产量和土壤钾素平衡的效应,本试验研究秸秆还田、秸秆还田配施化肥对水稻产量、土壤钾素平衡和土壤养分的效应以及对钾肥的替代效果,为合理利用秸秆资源、水稻增产、培肥地力提供合理依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

试验于2013—2015年在安徽省桐城市进行,供试土壤类型为水稻土。试验开始前耕层土壤(0~20 cm)有机质27.09 g/kg、全氮1.72 g/kg、碱解氮154.98 mg/kg、有效磷8.87 mg/kg、速效钾79.49 mg/kg、pH 5.52。

1.2 试验设计

试验共设置5个处理:(1)不施肥(CK);(2)秸秆还田(CK+S);(3)氮磷钾(NPK);(4)氮、磷、钾+秸秆还田(NPK+S);(5)氮磷+80%钾+秸秆还田(NP+80%K+S)。早稻季纯N用量165 kg/hm²,P₂O₅用量75 kg/hm²,K₂O用量90 kg/hm²,晚稻季纯N用量180 kg/hm²,P₂O₅用量75 kg/hm²,K₂O用量90 kg/hm²。秸秆还田用量为:早稻和晚稻收获后,秸秆还田处理秸秆全量还田。磷肥、钾肥、全部作基肥一次施用。氮肥分别做基肥、分蘖肥

和穗肥3次施用,施用比例为5:3:2,小区面积20 m²,重复3次,随机区组排列。其他栽培管理措施同常规。

1.3 采样方法与测定项目

植株样品采集:在每季水稻成熟时采集植株样品,每个小区随机采取5穴水稻为一个样品,植株样分为秸秆和籽粒两部分,于105℃杀青30 min后置65℃烘箱中烘干。样品粉碎后,用H₂SO₄-H₂O₂法消煮,凯氏定氮法测全氮,钼锑抗比色法测全磷,火焰光度计法测全钾^[9]。

土壤样品的采集:在水稻收获后按5点法,用土钻采集0~20 cm耕层土壤样品。风干后分别过1 mm筛和0.15 mm筛,用于土壤各项指标的测定,土壤pH值采用pH计测定,土壤有机质采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法测定,全氮采用半微量开氏定氮法,有效磷采用NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法,速效钾采用NH₄OAc浸提-火焰光度法^[11]。

1.4 主要计算公式^[12]

计算公式如(1)~(2)所示。

钾素平衡系数=投入土壤的钾/带出土壤中的钾
..... (1)

钾素实际平衡率=(输入钾-支出钾)/支出钾×100%
..... (2)

1.5 数据分析方法

本研究数据均采用Excel 2016、SPSS16.0软件进行统计分析。处理间差异显著性用LSD法及最小显著参数法进行分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田对水稻产量的效应

4季水稻产量结果说明,秸秆还田对水稻产量无显著负效应(表1)。在不施用化肥的条件下,处理CK与CK+S相比较,早稻、晚稻以及整个轮作周期的产量均无显著差异;配施化肥条件下,连续2年4季的试验结果表明,与NPK相比,NPK+S处理下2年水稻产量

表1 不同处理对水稻产量的影响

kg/hm²

处理	早稻		晚稻		周年产量	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
CK	3094b	3132b	3534b	3750b	6628b	6882b
CK+S	3096b	3168b	3494b	3843b	6590b	7011b
NPK	5774a	5272a	5161a	6853a	10935a	12125a
NPK+S	5714a	5350a	5360a	7130a	11074a	12480a
NP+80%K+S	5953a	5407a	5280a	7315a	11233a	12785a

注:同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平。下同。

略有提高,增幅分别为1.27%和2.40%,在某种程度上体现了秸秆还田配施化肥对水稻增产的长期效应。同时研究结果进一步显示,秸秆还田条件下减施化学钾肥20%后,早稻、晚稻及整个轮作周期的产量均没有表现出显著的减产效应,由此说明本试验条件下,无论是在不施化肥还是施化肥的条件下,秸秆还田对水稻产量均没有负效应,而且秸秆还田可以替代20%的化学钾肥而不会减少水稻产量。

2.2 秸秆还田对土壤钾素表观平衡的影响

由表2可以看出,随着作物对土壤钾素的消耗,CK处理的土壤钾素年盈亏量为-183.1~-177.0 kg/hm²,2年累计亏缺-360.1 kg/hm²,处于严重的耗竭状态。

NPK处理的土壤钾素也有相当量的亏缺,年盈亏量为-198.1~-194.7 kg/hm²,2年累计亏缺392.8 kg/hm²,说明单施化肥并不能改善土壤钾素的收支平衡。CK+S处理钾素基本平衡,2年累计亏缺40.3 kg/hm²,而NPK+S和NP+80%K+S处理的钾素均处于盈余状态,2年累计盈余量分别为281.2 kg/hm²和201.4 kg/hm²。2年钾平衡系数除NPK+S和NP+80%K+S处理外,其他处理平衡系数均小于1,CK+S、NPK、NPK+S、NP+80%K+S处理平衡系数分别为:0.90、0.48、1.40、1.27。说明采取秸秆还田措施,补充了大量的钾素,有利于土壤钾素收支平衡,可缓解土壤钾素的耗竭,维持土壤钾素肥力的稳定。

表2 不同处理对土壤钾素表观平衡的影响

轮作 周期	处理	钾肥用量/(kg/hm ²)		作物钾移走量/ (kg/hm ²)	钾素表观盈亏量/ (kg/hm ²)	钾平衡 系数	钾实际 平衡率
		化学钾	秸秆钾				
2014	CK	0	0	177.0	-177.0	0.00	-100.0
	CK+S	0	175	180.0	-5.5	0.97	-3.1
	NPK	180	0	374.7	-194.7	0.48	-46.6
	NPK+S	180	311	354.1	137.0	1.39	38.7
	NP+80%+S	144	334	362.6	98.4	1.32	27.2
2015	CK	0	0	183.1	-183.1	0.00	-100.0
	CK+S	0	158	193.3	-35.1	0.82	-18.2
	NPK	180	0	378.1	-198.1	0.48	-52.4
	NPK+S	180	323	358.7	144.3	1.40	42.2
	NP+80%+S	144	328	386.0	85.84	1.22	22.2
总计	CK	0	0	360.1	-360.1	0.00	-100.0
	CK+S	0	333	373.3	-40.3	0.90	-10.8
	NPK	360	0	752.8	-392.8	0.48	-52.2
	NPK+S	360	634	712.8	281.2	1.40	39.5
	NP+80%+S	288	662	748.6	201.4	1.27	27.0

2.3 秸秆还田对土壤养分含量的影响

随着作物对土壤养分的消耗,与基础土壤相比,CK处理的土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量均有所下降,土壤养分处于耗竭状态。与CK相比,各处理均提高了土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾含量。其中,土壤有机质提升了1.62%~2.11%,以NPK+S处理效果最为显著,CK+S处理效果较差,但各处理间均未达到显著性差异。各处理的土壤全氮含量比对照提高了3.03%~4.85%,以NP+80%K+S处理效果最显著,其次是NPK+S处理,CK+S和NPK处理效果较差,但各处理间均未达到显著性差异。土壤有效磷含量提高

了6.15%~118.59%,NPK+S、NP+80%K+S和NPK与CK相比均达到显著性差异;CK+S处理效果较差,与CK之间差异不显著;说明单施化肥可以显著提高土壤有效磷的含量,而秸秆还田对土壤有效磷含量的提升效果不显著。土壤速效钾含量增加了8.95%~29.15%,以NP+80%K+S和NPK+S处理效果最明显,但两处理间无显著性差异,NPK和CK+S处理效果次之,各处理与CK相比均有显著性差异。表明采取秸秆还田措施,可以缓解土壤养分耗竭趋势并可以显著增加土壤速效钾含量,施肥结合秸秆还田可以减缓土壤养分下降趋势并显著增加土壤有效磷和速效钾含

表3 不同处理对土壤养分含量的影响

处理	有机质/(g/kg)	全氮/(g/kg)	有效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)
CK	26.48a	1.65a	6.67b	69.91c
CK+S	26.91a	1.70a	7.08b	76.17b
NPK	27.03a	1.70a	13.75a	79.82b
NPK+S	27.04a	1.72a	14.50a	87.28a
NP+80%K+S	26.94a	1.73a	14.58a	90.29a

量,维持土壤肥力的稳定。

3 结论

(1)施肥和不施肥条件下秸秆还田都不会对水稻产量产生负效应,秸秆还田配施化肥可以有效替代20%化学钾肥,不会降低水稻产量。

(2)采取秸秆还田措施,补充了大量的钾素,有利于土壤钾素收支平衡,可减缓土壤钾素的耗竭,是一种对土壤补充钾素的有效手段。

(3)化肥配施秸秆还田可以显著增加土壤有效磷、速效钾含量,减缓土壤地力的耗竭,达到改善肥力、培肥土壤的目的。

4 讨论

有关秸秆还田对作物产量影响的研究已有较多的报道,但研究结果不尽一致^[6-10]。赵士诚等^[5]研究表明,秸秆还田可使早稻产量增加10.0%~12.9%,而对晚稻无显著效应。朱利群和张大伟的研究结果显示,秸秆还田使水稻穗粒数降低12.1%,千粒重平均降低5.7%,产量降低约7.7%^[7-8]。本试验研究表明,无论是在施肥还是不施肥条件下,从早稻、晚稻以及整个轮作周期来看,秸秆还田对水稻产量均没有负效应;从土壤养分情况来看,与试验开始前相比,长期的作物养分消耗导致土壤有效磷和速效钾含量显著降低。与CK相比,不施肥条件下秸秆还田可以显著提高土壤速效钾含量,增幅为9.0%;施肥条件下秸秆还田显著提高土壤速效钾含量,增幅为25.6%,说明在施肥和不施肥条件下秸秆还田都是可以提高土壤速效钾的含量,这与武际等^[13]研究发现秸秆还田有利于土壤速效钾的积累和提高的结果是一致的。不同秸秆还田处理均提高了土壤有机质和全氮含量,但未达到显著性水平,各处理间差异不显著,可能原因是本试验年限较短未能很好的体现土壤有机质和全氮的增加趋势。同时有研究表明通过15年的长期定位试验认为秸秆直接还田与化肥配施对提高土壤有机质和全氮积累,减缓地力衰竭,培肥土壤有极显著效果^[14]。进一步体现了秸秆还田对提升土壤有机质和全氮的长期

效应。

土壤钾平衡法是一种简单易行的判断土壤钾库丰缺状况的方法,广泛应用于农田钾素养分供应状况评价及科学施肥实践^[15]。本研究只探讨了土壤-作物系统内影响土壤钾素库的作物籽粒输出、作物秸秆输出、施钾肥输入和作物秸秆还田输入4种主要途径,没有考虑大气沉降和灌溉投入的钾素,故将算得的钾素盈亏量称为表观盈亏量^[16]。本研究结果表明在CK处理下,随着作物对土壤钾素的消耗,土壤钾素处于严重的耗竭状态。单施化肥对改善土壤钾素收支平衡效果较差,土壤钾素仍处于耗竭状态。采取秸秆还田措施可以显著提高土壤钾素平衡系数,减缓土壤钾素耗竭趋势,是解决土壤钾素亏缺、维持土壤钾素肥力稳定的有效方式。这与王宏庭^[17]16年的田间定位试验得出秸秆还田可以减缓土壤钾素耗竭的结论相一致。究其原因,秸秆养分释放率表现为 $K > P > N \approx C$ 。90天时,秸秆累计腐解率为48.9%~61.3%。其中89.3%~97.2%的钾被释放出来^[18]。同时本研究进一步明确了秸秆还田替代化学钾肥的效果,秸秆还田替代化学钾肥的研究也有较多的报道,不同学者对秸秆钾的利用率及其与化肥钾等效性的研究结果不一致,可能是由于土壤基础供钾能力的差异所导致。李继福等^[19]研究表明,高钾和中钾土壤秸秆还田钾素可以替代20%~50%的化学钾肥,而低钾土壤的结果与高钾、中钾土壤存在一定的差异,随着钾肥用量的增加,需要更多的外源钾肥供应才能满足水稻生长需要水稻产量也呈增加趋势。同时也有研究表明高钾土壤田块可能半量或1/3的秸秆还田配合一定量的化肥钾就能满足作物的钾素要求,而在土壤钾素较低的田块全量或过量的秸秆还田配合常规推荐的钾肥用量可能都不一定能够满足作物的钾素需求^[20]。在本试验研究条件下(速效钾79.49 mg/kg),秸秆还田配施化肥可以有效替代20%化学钾肥,是一种除化学钾肥以外的对土壤钾素的有效补充手段。

参考文献

- [1] 宋大利,侯胜鹏,王秀斌,等. 中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J]. 植物营养与肥料学报,2018,24(01):1-21.
- [2] 刘晓永,李书田. 中国秸秆养分资源及还田的时空分布特征[J]. 农业工程学报,2017,33(21):1-19.
- [3] 林咸永,孙羲. 不同水稻品种对钾的吸收及其对钾肥的反应[J]. 土壤学报,1995(01):77-83.
- [4] 王石军. 发展我国钾肥工业的几点思考[J]. 化肥工业,1996,26(1):12-14.
- [5] 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(01):133-139.
- [6] 赵士诚,曹彩云,李科江,等. 长期秸秆还田对华北潮土肥力、氮库组分及作物产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(06):1441-1449.
- [7] 朱利群,张大伟,卞新民. 连续秸秆还田与耕作方式轮换对稻麦轮作田土壤理化性状变化及水稻产量构成的影响[J]. 土壤通报,2011,42(01):81-85.
- [8] 张大伟. 连续秸秆还田与耕作方式轮换对土壤理化性状及水稻养分吸收和产量影响[D]. 南京:南京农业大学,2009.
- [9] 牛东. 连续水稻秸秆还田年限对麦季土壤养分含量及温室气体排放的影响[D]. 扬州:扬州大学,2017.
- [10] 刘禹池,曾祥忠,冯文强,等. 稻-油轮作下长期秸秆还田与施肥对作物产量和土壤理化性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(6):1450-1459.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京:中国农业出版社,2007.
- [12] 谢佳贵,侯云鹏,尹彩侠,等. 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[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(05):1110-1118.
- [13] 李孝勇,武际,朱宏斌,等. 秸秆还田对作物产量及土壤养分的影响[J]. 安徽农业科学,2003(05):870-871.
- [14] 劳秀荣,孙伟红,王真,等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报,2003(04):618-623.
- [15] 冀宏杰,张怀志,张维理,等. 我国农田土壤钾平衡研究进展与展望[J]. 中国生态农业学报,2017,25(06):920-930.
- [16] 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(04):900-906.
- [17] 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(04):801-808.
- [18] 武际,郭熙盛,鲁剑巍,等. 不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响[J]. 生态学报,2013,33(2):565-575.
- [19] 李继福,鲁剑巍,任涛,等. 稻田不同供钾能力条件下秸秆还田替代钾肥效果[J]. 中国农业科学,2014,47(02):292-302.
- [20] 姜超强,郑青松,祖朝龙. 秸秆还田对土壤钾素的影响及其替代钾肥效应研究进展[J]. 生态学杂志,2015,34(04):1158-1165.