

# 施钾与秸秆还田对早稻生长、养分吸收及农田钾素平衡的影响

李继福<sup>1,2</sup> 鲁剑巍<sup>1,2</sup> 李小坤<sup>1,2</sup> 戴志刚<sup>3</sup>

(1. 华中农业大学资源与环境学院, 湖北武汉 430070; 2. 农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 湖北武汉 430070; 3. 湖北省土壤肥料工作站, 湖北武汉 430070)

**摘要:** 2011年在稻-稻-油三熟制主产区开展田间试验,研究了油菜秸秆还田配施钾肥对早稻生长、养分吸收和农田钾素平衡的影响。结果表明,(1)施用钾肥或者秸秆还田均能不同程度地增加稻根、稻草干物质量、产量以及各部位养分累积量,尤以秸秆还田配施钾肥增效最好。(2)与不施钾处理相比,秸秆还田配施钾肥显著提高了早稻分蘖数和每穗粒数,但稻谷结实率和千粒重有降低的趋势。(3)土壤供钾能力低时,早稻根系对钾素缺乏更敏感,其次是水稻地上部。施钾及秸秆还田均能提高水稻根系的钾素含量,但施用钾肥效果较明显。(4)秸秆钾素当季吸收利用率低于钾肥吸收利用率,秸秆还田条件下供钾能力强的土壤可以适当减少钾肥施用量,而对于供钾能力弱的土壤,钾肥用量不宜减少。

**关键词:** 秸秆还田; 施钾; 钾素利用; 早稻



钾是肥料三要素之一。对水稻而言,钾不仅是生长发育必不可少的营养元素,且需求量比氮、磷都多。随着农业生产水平的提高、高产新品种的推广,钾素在农业生产中的作用日益突出,部分地区土壤缺钾已成为限制农业发展的主要因素之一<sup>[1]</sup>。秸秆中钾素含量较高,还田后可将大部分钾归还土壤,减少下茬作物的钾肥用量,可作为钾肥的补充资源缓解国内钾肥资源短缺、国际钾肥价格偏高的压力。

研究表明秸秆还田配施钾肥,可有效提高旱地土壤有效钾含量,缓解土壤钾素亏缺<sup>[2]</sup>,而南方稻区秸秆还田效果研究还相对薄弱。另外,稻-稻-油种植制度是中国南方尤其湖北、湖南和江西等地区的主要种植模式<sup>[3]</sup>,该轮作制度复种指数高、土地休闲期短,每年作物从土壤中带走的钾素总量约为240-360公斤/公顷,而钾素补给不够,出现土壤有效钾含量降低的趋势。为此,2011年在鄂东三熟制地区的武穴和蕲春开展油菜秸秆还田早稻试验,研究秸秆全量还田配施钾肥对早稻生长、养分累积以及土壤钾素收支平衡的影响,初步评价秸秆钾与化肥钾的等效性,以期为该地区乃至长江流域水旱轮作区秸秆还田技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验点概况

试验点1位于武穴市大金镇,供试土壤为第三纪粘土发育而成的水稻土,pH 5.6,有机质40.0克/公斤,全氮1.82克/公斤,有效磷29.5毫克/公斤,速效钾62.8毫克/公斤。试验点2位于蕲春县横车镇,供试土壤为花岗片麻岩母质发育的水稻土,pH 4.6,有机质27.3克/公斤,全氮0.85克/公斤,有效磷5.2毫克/公斤,速效钾53.4毫克/公斤。前茬作物均为冬油菜。武穴试验点还田油菜茎秆、角壳钾素含量分别为1.29%和2.48%。蕲春试验点还田油菜茎秆、角壳钾素含量分别为1.16%和2.41%。

### 1.2 试验设计

试验共设4个处理,分别为:(1)CK(-K);(2)+K;(3)+S;(4)K+S。其中K代表钾肥,S代表秸秆。钾肥用量为 $K_2O$  5公斤/亩,各处理氮磷肥用量均为N 11公斤/亩、 $P_2O_5$  3公斤/亩。氮肥分3次施用,基肥:蘖肥:穗肥=2:1:1;磷肥一次性基施;钾肥分2次施用,基肥:穗肥=2:1。油菜秸秆还田用量为300公

表 1 施钾与秸秆还田对早稻各部位干物质量的影响

地区	处理	稻根干物质量	稻草干物质量	产量	增产量	增产率
		(公斤/亩)				(%)
武穴	CK	76.8 b	283.6 b	456.2 b	--	--
	+K	79.0 ab	302.4 b	474.8 ab	18.6	4.1
	+S	81.1 a	318.5 ab	489.5 a	33.3	7.3
	K+S	82.4 a	334.3 a	498.6 a	42.4	9.3
蕲春	CK	59.7 c	220.0 c	325.8 c	--	--
	+K	66.8 b	254.1 b	369.4 ab	43.6	13.4
	+S	62.7 bc	237.0 bc	348.5 bc	22.6	6.9
	K+S	72.2 a	275.8 a	395.8 a	69.9	21.5

斤/亩(茎秆:角壳=1:1)与基肥一起翻压、泡水。小区面积 20 m<sup>2</sup>, 3 次重复, 随机排列。各试验点 4 月初育苗, 5 月中旬插秧, 7 月底收获。

## 2 结果与分析

### 2.1 施钾与秸秆还田对早稻各部位干物质量的影响

表 1 数据显示, 在施用氮磷肥基础上, 与对照相比, 单施钾肥和秸秆还田均能不同程度地增加早稻各部位干物质量。武穴试验点, +K 处理和 +S 处理比 CK 处理的产量分别增加 18.6 公斤/亩和 33.3 公斤/亩, 增幅分别为 4.1% 和 7.3%。秸秆还田配施钾肥比对照 CK 显著增加早稻产量以及稻草、稻根的干物质量, 比 CK 处理分别增加 42.4 公斤/亩、50.7 公斤/亩和 5.6 公斤/亩, 增幅分别为 9.3%、17.8% 和 7.3%。

蕲春试验点结果表明不施钾会造成水稻生长受阻, +K 处理比 CK 处理的稻根、稻草、产量分别增加 7.1 公斤/亩、34.1 公斤/亩和 43.7 公斤/亩, 增幅分别为 11.9%、15.5% 和 13.4%, 表明施钾可显著增加稻草干物质量, 其次是稻谷产量和稻根干物质量。+S 处理与 CK 处理相比无差异。K+S 处理比 +K 处理、+S 处理分别

增产 26.2 公斤/亩和 47.2 公斤/亩, 增幅分别为 7.1% 和 13.5%。说明蕲春地区在秸秆还田的基础上进行推荐施肥能显著增加早稻的产量。

### 2.2 施钾与秸秆还田对早稻产量构成因素的影响

产量的形成与单位面积的有效穗数、穗粒数、结实率和籽粒的千粒重有密切关系。表 2 结果显示增施钾肥以及秸秆还田均能显著增加单位面积有效穗数和每穗粒数, 但有降低结实率和千粒重的趋势, 尤其是钾肥和秸秆配合施用, 两试验点的结实率和千粒重同 CK 相比, 均显著降低。

### 2.3 施钾与秸秆还田对早稻各部位养分含量的影响

秸秆不仅含有大量的钾素, 还有大量的有机氮和有机磷, 进行秸秆还田也会影响水稻各部位 N、P 和 K 养分的含量。表 3 结果显示施钾与秸秆还田对稻谷的养分含量没有显著影响, 但对于稻根和稻草, 不同地区、处理间存在一定的差异。武穴试验点稻根的 N 含量变化较大, 以 +K 处理最高, 为 1.04%; K+S 处理最低, 为 0.90%。蕲春试验点施钾与秸秆还田对稻根和稻草的养分含量均有影响, 尤其是钾素含量处理间变化极为显著。不施钾时,

表 2 施钾与秸秆还田对早稻产量构成因素的影响

地区	处理	总分蘖数	有效穗率	每穗粒数	结实率	千粒重
		(×10 <sup>4</sup> /亩)	(%)		(%)	(克)
武穴	CK	30.6 b	89.8 b	80 a	81.5 a	23.1 a
	+K	32.6 ab	92.8 ab	82 a	79.2 ab	23.5 a
	+S	33.1 a	93.6 ab	89 a	78.1 ab	22.7 a
	K+S	34.3 a	95.1 a	86 a	77.6 b	21.9 b
蕲春	CK	15.5 b	80.5 b	87 b	83.9 a	24.5 a
	+K	18.1 a	88.4 a	98 a	83.6 a	23.7 b
	+S	17.7 a	85.2 ab	93 a	79.5 b	24.6 ab
	K+S	19.6 a	89.3 a	100 a	80.8 b	23.9 b

表3 施钾与秸秆还田对早稻各部位养分含量的影响

地区	处理	稻根 (%)			稻草 (%)			稻谷 (%)		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K
武穴	CK	0.93 ab	0.26 a	2.03 a	1.87 a	0.23 a	2.59 a	1.82 a	0.32 a	0.30 a
	+K	1.04 a	0.27 a	2.30 a	1.88 a	0.24 a	2.74 a	1.74 a	0.33 a	0.29 a
	+S	0.91 ab	0.30 a	2.43 a	1.93 a	0.23 a	2.63 a	1.79 a	0.32 a	0.31 a
	K+S	0.90 b	0.27 a	2.38 a	1.94 a	0.22 a	2.76 a	1.98 a	0.33 a	0.30 a
蕲春	CK	0.89 a	0.22 ab	0.62 c	1.32 bc	0.23 a	2.21 c	1.46 a	0.29 a	0.27 a
	+K	0.81 b	0.25 a	1.88 a	1.60 a	0.27 a	2.69 b	1.47 a	0.31 a	0.27 a
	+S	0.75 b	0.18 b	1.37 b	1.29 c	0.23 a	2.61 b	1.37 a	0.29 a	0.25 a
	K+S	0.77 b	0.22 ab	1.97 a	1.43 b	0.24 a	3.12 a	1.47 a	0.32 a	0.25 a

稻根比稻草、稻谷对钾素缺乏更敏感,施钾可显著提高稻根和稻草的钾素含量,且效果优于秸秆还田处理。可知,秸秆钾与化肥钾在农田实际情况下的效果存在一定的差异。

#### 2.4 施钾与秸秆还田对早稻各部位养分累积量的影响

表4结果显示施钾以及秸秆还田对各早稻各部位的养分累积量因地区不同而有所差异。武穴试验点稻根和稻谷的氮、磷、钾养分累积量处理间没有显著差异。K+S处理的稻草氮、磷、钾累积量最高,其中氮、钾累积量比CK分别显著高出1.19公斤/亩和2.26公斤/亩,增幅达22.4%和25.6%。

蕲春试验点结果表明,施钾或秸秆还田稻根钾素累积量差异最明显,+K处理和+S处理比CK分别增加1.06公斤/亩和0.58公斤/亩,说明施钾比秸秆还田能明显增加稻根的钾素累积量。稻草养分累积量结果显示施钾或秸秆还田不仅可以增加钾素的累积吸收量,也可以增加氮和磷的吸收量。

#### 2.5 施钾与秸秆还田对农田钾素平衡的影响

农田钾素平衡是指农田中的钾素投入与作物收获带走钾素总量的差值。本试验只考虑肥料、秸秆钾素的投入和作物地上部收获带走的量。表5结果显示武穴试验点不施钾处理作物带走的钾素为10.48公斤/亩,说明一季早稻收获后,土壤钾素亏缺量较大。施钾或秸秆还田均能不同程度的减少土壤钾素的亏缺,尤其是钾肥和秸秆配合施用,武穴试验点亏缺量减少到1.10公斤/亩,明显缓解因作物收获造成的土壤钾素损耗。

蕲春试验点钾素平衡同武穴点类似。不施钾肥情况下,早稻仍能从土壤中吸收钾素6.88公斤/亩,低于武穴试验点,可见蕲春试验点土壤供钾能力低于武穴试验点。投入钾肥5公斤/亩,地上部钾素累积量增加2.51公斤/亩;投入秸秆钾素6.07公斤/亩,地上部钾素累积量增加1.61公斤/亩。可知,钾肥和秸秆钾素的利用率分别为50.2%和26.5%,而秸秆还田配施钾肥的钾素综合利用率为41.9%,投入的秸秆钾素吸收利用率远低于钾肥吸收利用率。

表4 施钾与秸秆还田对早稻各部位养分累积量的影响

地区	处理	稻根			稻草			稻谷			公斤/亩
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
武穴	CK	0.71 a	0.45 a	1.87 b	5.30 b	1.49 a	8.83 b	8.32 b	3.40 a	1.65 a	
	+K	0.82 a	0.49 a	2.18 a	5.70 ab	1.66 a	9.93 ab	8.27 b	3.62 a	1.64 a	
	+S	0.74 a	0.56 a	2.37 a	6.13 a	1.69 a	10.04 a	8.77 ab	3.54 a	1.80 a	
	K+S	0.74 a	0.51 a	2.35 a	6.49 a	1.72 a	11.09 a	9.87 a	3.79 a	1.81 a	
蕲春	CK	0.53 a	0.30 b	0.45 c	2.91 b	1.17 b	5.82 b	4.74 b	2.19 c	1.05 a	
	+K	0.54 a	0.39 a	1.51 a	4.06 a	1.57 a	8.19 a	5.44 ab	2.59 ab	1.20 a	
	+S	0.47 a	0.26 ab	1.03 b	3.06 b	1.22 b	7.43 b	4.76 b	2.34 bc	1.06 a	
	K+S	0.55 a	0.36 ab	1.71 a	3.96 a	1.54 a	10.32 a	5.80 a	2.93 a	1.20 a	

地区	处理	投入			产出			平衡
		肥料	秸秆	合计	稻草	稻谷	合计	
武穴	CK	0	0	0	8.83	1.65	10.48	-10.48
	+K	5	0	5	9.93	1.64	11.57	-6.57
	+S	0	6.80	6.80	10.04	1.80	11.84	-5.04
	K+S	5	6.80	11.80	11.09	1.81	12.90	-1.10
蕲春	CK	0	0	0	5.82	1.05	6.88	-6.88
	+K	5	0	5	8.19	1.20	9.39	-4.39
	+S	0	6.07	6.07	7.43	1.06	8.49	-2.42
	K+S	5	6.07	11.07	10.32	1.20	11.52	-0.45

### 3 结论与讨论

两个试验点施钾与秸秆还田效果表现出一定的差异。武穴试验点增产效果表现为  $K+S > +S > +K$ ，而蕲春试验点增产效果表现为  $K+S > +K > +S$ 。这表明，(1) 秸秆还田对早稻生产的效应表现为正效应，秸秆还田配施钾肥可显著增加早稻产量和地上部干物质量；(2) 施钾或秸秆还田增产效果可能与土壤本身的肥力有关。虽然两地的速效钾含量相差不大，但是武穴试验田施钾增产不明显，可能是武穴试验点土壤供钾强度高，能满足早稻生

长需求。已有研究表明在供钾能力强的土壤上连续5年不施用钾肥对作物产量没有任何影响<sup>[4]</sup>。而蕲春试验点土壤是片麻岩母质发育的水稻土，本身供钾能力较低。因此，作物施用钾肥后增产效果明显。同时，片麻岩发育的水稻土偏砂性、有机质含量低，土壤缓冲性能弱，秸秆还田释放养分的同时也会产生有机酸和酚类等有害物质，对作物产生负作用，进而影响养分吸收利用。早稻生育期短，但对养分的需求量大，产量越高，地上部干物质量也越大，



带走的钾素相应地会增多。通过施钾或秸秆还田，对耕层土壤速效钾和缓效钾有积极的促进作用。农田钾素平衡结果显示各处理亏缺量表现为： $-K > +K > +S > K+S$ 。从维持农田养分平衡和增加粮食产量的角度来讲，单施钾肥或秸秆还田并不能抵消水稻对土壤钾素的消耗。因此，开展稻田秸秆还田时，还要注意钾肥的合理配施。

由于稻草的 C/N 较高，在腐解过程中，需要消耗一

定的氮素。调查发现秸秆还田增加了早稻的无效分蘖，可能与分蘖期氮肥供应不足有关。另外，秸秆还田后，稻谷的结实率和千粒重有所下降，这一方面可能是后期土壤供氮增强，水稻徒长、贪青、晚熟；另一方面稻-稻-油轮作茬口时间紧，早稻收获时叶色普遍较青，籽粒灌浆不充分、成熟度不高。因此，秸秆还田种植早稻应注意氮肥调控，加强早期氮肥供应，相应地减少水稻后期氮肥施用。

## 参考文献

- [1] Cakmak I. Plant nutrition research: priorities to meet human needs for food in sustainable ways [J]. *Plant Soil*, 2002, 247:3-24.
- [2] 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.
- [3] 段红平. 我国三熟耕作区湖南省耕作制度演变规律、趋势与对策研究 [M]. 北京: 中国农业大学, 2000.
- [4] Niu L A, Hao J M. Influences of long-term fertilizer and tillage management on soil fertility of the North China plain [J]. *Pedosphere*, 2011, 21 (6):813-820.