

## 钾氮配施对湖南丘陵双季稻钾肥效应及钾素平衡的影响

廖海艳<sup>1</sup>, 廖育林<sup>2,3</sup>, 鲁艳红<sup>2,3</sup>, 聂军<sup>2,3\*</sup>, 谢坚<sup>2,3</sup>, 杨曾平<sup>2,3</sup>, 周兴<sup>2</sup>

(1.湖南第一师范学院, 湖南 长沙 410205; 2.湖南省土壤肥料研究所, 湖南 长沙 410125; 3.农业部湖南耕地保育科学观测实验站, 湖南 长沙 410125)

**摘 要:** 采用大田试验, 研究丘陵双季稻区红黄泥田和黄泥田 2 种土壤 4 个水平钾肥用量(记为  $K_0$ 、 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ ) 与 2 个水平氮肥用量(中量氮肥水平  $N_1$  和高量氮肥水平  $N_2$ ) 配施(共 6 个施肥处理  $N_1K_0$ 、 $N_1K_1$ 、 $N_1K_2$ 、 $N_1K_3$ 、 $N_2K_0$ 、 $N_2K_3$ ) 对早、晚稻产量、钾素吸收利用、钾素平衡、土壤钾素含量和钾肥经济效益的影响。早稻  $K_0$ 、 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  分别为 0、105、150、195 kg/hm<sup>2</sup> ( $K_2O$ , 下同), 晚稻分别为 0.0、136.5、195.0、253.5 kg/hm<sup>2</sup>; 早稻  $N_1$ 、 $N_2$  分别为 150、195 kg/hm<sup>2</sup> (N, 下同), 晚稻分别为 180、234 kg/hm<sup>2</sup>。结果表明: 施用钾肥能显著提高早、晚稻产量, 且晚稻的增产效果尤为显著, 在中量施氮( $N_1$ ) 水平下, 红黄泥田早稻  $N_1K_1$  和晚稻  $N_1K_2$  的产量最高, 分别比  $N_1K_0$  增产 5.1% 和 13.9%; 黄泥田早稻  $N_1K_3$  和晚稻  $N_1K_2$  的产量最高, 分别比  $N_1K_0$  增产 12.9% 和 17.7%。施用钾肥有利于维持土壤钾素平衡, 提高土壤钾素肥力。在中量施氮( $N_1$ ) 水平下, 2 种土壤早稻  $N_1K_0$  和  $N_1K_1$  的土壤钾素呈亏缺状态,  $N_1K_2$  和  $N_1K_3$  土壤钾素出现盈余; 晚稻  $N_1K_0$ 、 $N_1K_1$  和  $N_1K_2$  土壤钾素均呈亏缺状态,  $N_1K_3$  出现钾素盈余。2 种土壤早稻和晚稻收获后  $N_1K_2$ 、 $N_1K_3$  和  $N_2K_3$  的土壤速效钾含量均不同程度增加,  $N_1K_0$ 、 $N_1K_1$  和  $N_2K_0$  均显著降低。红黄泥田上施用钾肥对早稻的增收效果不明显, 而对晚稻的增收效果达到了显著水平, 黄泥田施用钾肥对早、晚稻的增收效果均达到了显著水平。考虑到钾肥在提高水稻产量、维持土壤钾素肥力和增加收入等方面的综合效应, 湖南省丘陵双季稻生产应重视早稻与晚稻的钾肥合理分配, 根据土壤钾素状况和早、晚稻的钾肥增产效应差异, 采取“早稻轻, 晚稻重”的分配原则。

**关 键 词:** 钾肥; 钾肥效应; 钾素平衡; 双季稻; 湖南

中图分类号: S143.3

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2014)05-0463-07

### Effect of potassium combined with nitrogen application on potassium efficiency and potassium balance of double rice in hilly regions of Hunan province

LIAO Hai-yan<sup>1</sup>, LIAO Yu-lin<sup>2,3</sup>, LU Yan-hong<sup>2,3</sup>, NIE Jun<sup>2,3\*</sup>, XIE Jian<sup>2,3</sup>, YANG Zeng-ping<sup>2,3</sup>, ZHOU Xing<sup>2</sup>

(1.Hunan First Normal University, Changsha 410205, China; 2.Soil and Fertilizer Institute of Hunan province, Changsha 410125, China; 3.Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation(Hunan), Ministry of Agriculture of China, Changsha 410125, China )

**Abstract:** The field trials were conducted to study the effects of combined application of nitrogen and potassium on rice yield, K absorption, K utilization efficiency, K balance, K content in soil and the economic benefit of K fertilizer at 2 types of paddy soil in hilly regions of double-rice cropping system. Six plots were arranged, they were  $N_1K_0$ ,  $N_1K_1$ ,  $N_1K_2$ ,  $N_1K_3$ ,  $N_2K_0$ ,  $N_2K_3$  with combined application of four K levels, namely,  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  and  $K_3$ , and two N levels ( $N_1$  and  $N_2$ ). K application rate of  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  and  $K_3$  in early rice and late rice were 0, 105, 150, 195 kg/hm<sup>2</sup> ( $K_2O$ , the same below) and

收稿日期: 2014-05-08

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203013); 国家“十二·五”科技支撑计划项目(2012BAD05B05; 2013BAD07B11); 国际植物营养研究所资助项目(IPNI)

作者简介: 廖海艳(1974—), 女, 湖南邵阳人, 副教授, 主要从事基础生命科学研究, liaohaiyan714@sina.com; \*通信作者, junnie@foxmail.com

0.0, 136.5, 195.0, 253.5 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. N application rate of N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> in early rice and late rice were 150, 195 kg/hm<sup>2</sup> (N, the same below) and 180, 234 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. The results showed that K fertilizer application could obviously increase grain yields of early rice and late rice, especially for the late rice. Under N<sub>1</sub> application level, the grain yield of N<sub>1</sub>K<sub>1</sub> plot in early rice and N<sub>1</sub>K<sub>2</sub> in late rice were the highest in reddish yellow soil, which increased by 5.1% and 13.9% compared with N<sub>1</sub>K<sub>0</sub> plot, respectively. The grain yield of N<sub>1</sub>K<sub>3</sub> plot in early rice and N<sub>1</sub>K<sub>2</sub> in late rice were the highest in yellow clayey soil, which increased by 12.9% and 17.7% compared with N<sub>1</sub>K<sub>0</sub> plot, respectively. K application was helpful to keep soil K balance and improve soil K level. Under N<sub>1</sub> level, K balances of the experimental soils were deficient in N<sub>1</sub>K<sub>0</sub> and N<sub>1</sub>K<sub>1</sub> plots, and surplus in N<sub>1</sub>K<sub>2</sub> and N<sub>1</sub>K<sub>3</sub> plots in early rice, while, they were deficient in N<sub>1</sub>K<sub>0</sub>, N<sub>1</sub>K<sub>1</sub> and N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>, surplus in N<sub>1</sub>K<sub>3</sub> in late rice. Compared with the initial level, the available K content in the two soils were increased in N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>, N<sub>1</sub>K<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>K<sub>3</sub> plots while decreased in N<sub>1</sub>K<sub>0</sub>, N<sub>1</sub>K<sub>1</sub> and N<sub>2</sub>K<sub>0</sub> plots after early rice and late rice were harvested. The economic profit of K application in reddish yellow soil was not significant in early rice but it was significant in late rice. The economic profit of grain in yellow soil was significant both in early and late rice. Therefore, it should pay attention to take K fertilizer suitable distribution under consideration in early rice and late rice for the improvement of rice yield, maintenance of soil potassium fertility and enhancement of grain economic benefit. The utilization principle should be recommended as less K application in early rice and more in late rice at double rice regimes in hilly regions of Hunan Province.

**Key words:** potassium fertilizer; potassium effects; potassium balance; double cropping rice; Hunan

湖南省地处中亚热带地区,属季风性湿润气候,光照充足,热量丰富,雨水充沛。丘陵地区约占全省总面积的 28.79%<sup>[1]</sup>,具有较优越的水稻种植自然条件,是湖南省主要的粮食生产基地,且以栽培双季水稻为主。随水稻生产集约化程度的提高和高产水稻品种的推广,水稻单产和复种指数提高、有机肥用量锐减、氮和磷肥用量增加、农民为方便耕地而将稻草直接燃烧或将其作为燃料和家畜饲草利用等,导致稻田土壤钾素亏缺越来越严重<sup>[2-3]</sup>。此外,南方地区高温多雨,雨水充沛而集中,土壤养分淋失严重,导致近 30 年来农田养分,特别是钾素的产出与投入严重失衡<sup>[4]</sup>,因此,大多数稻-稻生产体系处于负钾素平衡<sup>[4-7]</sup>。在传统种植模式下,农民多重视氮肥施用,轻视钾、磷肥施用,或减少含钾有机肥施入,以致土壤养分失衡,钾素含量下降,因此,合理施用钾肥是维持稻-稻生产体

系水稻产量的重要措施<sup>[3]</sup>。笔者探讨湖南省丘陵地区钾肥的优化施用技术,旨在为湖南丘陵双季稻区水稻种植合理配施钾肥提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试水稻品种(组合):早稻为浙辐 7 号(长沙县试验点)和威优 402(衡山县试验点);晚稻为丰源优 272(长沙县试验点)和玉香 88(衡山县试验点)。

### 1.2 供试土壤

试验在湖南省长沙县和衡山县进行。长沙县试验点土壤为第四纪红土发育的红黄泥田;衡山县试验点土壤为板页岩发育的黄泥田。试验前 0~20 cm 土壤的基本性状见表 1。

表 1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of the tested soils

土壤类型	pH(水)	有机质含量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮含量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮含量/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷含量/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全钾含量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾含量/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	缓效钾含量/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
红黄泥田	5.3	32.9	12.5	298.1	6.4	9.2	54.2	103.5
黄泥田	5.8	38.3	13.4	191.2	4.9	9.9	74.3	94.4

### 1.3 试验设计

试验于 2012 年早、晚稻种植期间进行。试验钾肥用量设 K<sub>0</sub>、K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub> 共 4 个水平,氮肥用量设中量氮肥(N<sub>1</sub>)和高量氮肥(N<sub>2</sub>)2 个水平,钾、氮

肥配施共 6 个处理,即 N<sub>1</sub>K<sub>0</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>1</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>K<sub>0</sub>、N<sub>2</sub>K<sub>3</sub>。早稻 N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub> 的施 N 量分别为 150、195 kg/hm<sup>2</sup>,晚稻分别为 180、234 kg/hm<sup>2</sup>;早稻 K<sub>0</sub>、K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub> 的施钾(K<sub>2</sub>O)量分别为 0、105、150、

195 kg/hm<sup>2</sup>，晚稻分别为 0.0、136.5、195.0、253.5 kg/hm<sup>2</sup>。各处理磷肥施用均一致，早、晚稻施用 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量分别为 75、45 kg/hm<sup>2</sup>。氮肥为尿素。磷肥为过磷酸钙。钾肥为氯化钾。早稻 70% 的氮肥作基肥，30% 作分蘖肥；晚稻 60% 的氮肥作基肥，40% 作分蘖肥；磷、钾肥均 100% 作基肥。

早稻于 4 月下旬移栽，7 月中下旬收获，株行距 13.3 cm×20.0 cm；晚稻于 7 月中下旬移栽，10 月中下旬收获，株行距 20.0 cm×20.0 cm。小区面积 20 m<sup>2</sup>，重复 4 次，随机区组排列。

1.4 测定指标及方法

于每季水稻成熟期采集植株样品，测定其钾养分含量。各小区单打单晒，单独计产。试验前采集 0~20 cm 耕层基础土壤样品，用于土壤基本理化性状测定；早、晚稻收获后采集 0~20 cm 耕层土壤样品，风干磨碎后用于测定速效钾、缓效钾含量。土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷、全钾、速效钾、缓效钾含量和植株钾含量及土壤 pH 均采用常规分析法<sup>[8]</sup>测定。

1.5 数据分析方法

钾素利用率，钾肥农学效率和钾素(K<sub>2</sub>O)盈亏量的计算方法如下：

钾素利用率=(施肥区植株吸钾量-对照区植株吸钾量)/施钾量。

钾肥农学效率=(施肥区子粒产量-对照区子粒产量)/施钾量。

钾素(K<sub>2</sub>O)盈亏量(kg/hm<sup>2</sup>)=肥料投入钾素量-植株吸收钾素量。

所有数据均采用 SPSS 软件进行统计检验，用 Excel 2003 软件绘制图形。

2 结果与分析

2.1 各处理水稻的产量

2.1.1 早稻产量

由表 2 可见，在不同施氮水平下，不同钾肥施用量对水稻产量有较大影响。在中量施氮水平(N<sub>1</sub>)下，红黄泥田早稻 N<sub>1</sub>K<sub>1</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>3</sub> 的产量分别比 N<sub>1</sub>K<sub>0</sub> 增产 5.1%、2.4%和 3.7%，其中以 N<sub>1</sub>K<sub>1</sub> 的产量最高，N<sub>1</sub>K<sub>1</sub> 与 N<sub>1</sub>K<sub>0</sub> 产量间的差异达显著水平。在中量施氮水平(N<sub>1</sub>)下，黄泥田早稻 N<sub>1</sub>K<sub>1</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>3</sub> 的增产效果随钾肥施用量的增加而增加，N<sub>1</sub>K<sub>1</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>3</sub> 的产量分别比 N<sub>1</sub>K<sub>0</sub> 增产 10.3%，12.4%和 12.9%，且与 N<sub>1</sub>K<sub>0</sub> 的产量差异达极显著水平。在高量施氮水平(N<sub>2</sub>)下，红黄泥田和黄泥田 N<sub>2</sub>K<sub>3</sub> 的早稻产量分别比 N<sub>2</sub>K<sub>0</sub> 增产 13.7%和 14.9%。这说明在早稻生产中提高氮肥施用量，并相应提高钾肥施用量是实现丘陵双季稻区早稻高产的重要措施。

表 2 2 种土壤各处理水稻的产量

Table 2 Rice yield of different treatments in two paddy soils					
土壤	处理	早稻产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	增产率/%	晚稻产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	增产率/%
红黄泥	N <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	5 396 cB		5 663 cB	
	N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	5 676 bB	5.1	6 175 bAB	9.0
	N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	5 528 bcB	2.4	6 450 abA	13.9
	N <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	5 594 bcB	3.7	6 238 abAB	10.2
	N <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	5 412 cB		6 200 abAB	
	N <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	6 155 aA	13.7	6 650 aA	7.3
黄泥	N <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	5 663 dD		6 218 bB	
	N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	6 244 bBC	10.3	7 229 aA	16.3
	N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	6 363 bB	12.4	7 318 aA	17.7
	N <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	6 394 bB	12.9	7 020 aA	12.9
	N <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	6 088 cC		6 390 bB	
	N <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	6 994 aA	14.9	7 103 aA	11.2

### 2.1.2 晚稻产量

在中量施氮水平( $N_1$ )下,红黄泥田和黄泥田晚稻施用钾肥的增产效果明显,与  $K_0$  之间的产量差异均达极显著水平。红黄泥田  $N_1K_2$  的产量最高,比  $N_1K_0$  高 13.9%;  $N_1K_3$  的产量其次,比  $N_1K_0$  高 10.2%;  $N_1K_1$  比  $N_1K_0$  增产 9.0%。黄泥田也以  $N_1K_2$  的产量最高,比  $N_1K_0$  高 17.7%;  $N_1K_1$  的产量其次,比  $N_1K_0$  高 16.3%,  $N_1K_3$  比  $N_1K_0$  增产 12.9%。黄泥田晚稻施钾的增产效果比红黄泥田的好。在高量施氮水平( $N_2$ )下,红黄泥田和黄泥田  $N_2K_3$  的晚稻产量分别比  $N_2K_0$  增产 7.3%和 11.2%。这一结果说明在丘陵双季稻区中量施氮( $N_1$ )并配合中量施钾( $K_2$ )有

利于提高晚稻产量

## 2.2 各处理水稻的钾素吸收利用及钾素平衡情况

### 2.2.1 水稻植株的总吸钾量

由表 3 可以看出,在中量施氮( $N_1$ )水平下,红黄泥田的早稻和黄泥田的早、晚稻植株总吸钾( $K_2O$ )量均随钾肥量的增加而增加,而红黄泥田晚稻植株的总吸钾量以  $N_1K_2$  的最高。对相同钾肥施用量不同施氮水平植株的钾素吸收量进行比较,发现无论施钾还是不施钾,2 种土壤早、晚稻植株的总吸钾量均随氮施用量的增加而提高。 $N_2K_0$  的植株总吸钾量比  $N_1K_0$  的高,  $N_2K_3$  的植株总吸钾量比  $N_1K_3$  的高。

表 3 2 种土壤各处理水稻的钾素吸收及钾素平衡情况

土壤	处理	总吸钾( $K_2O$ )量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )		钾盈亏量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )		钾素利用率/%		钾素农学效率/( $kg \cdot kg^{-2}$ )	
		早稻	晚稻	早稻	晚稻	早稻	晚稻	早稻	晚稻
红黄泥	$N_1K_0$	87.3	108.2	-87.3	-108.2				
	$N_1K_1$	120.4	197.6	-15.4	-61.1	31.5	65.5	2.00	3.75
	$N_1K_2$	131.1	214.0	18.9	-19.0	29.2	54.3	0.67	4.04
	$N_1K_3$	149.6	199.2	45.4	54.3	31.9	35.9	0.77	2.27
	$N_2K_0$	113.5	113.6	-113.5	-113.6				
	$N_2K_3$	161.7	259.8	33.3	-6.3	24.7	57.7	2.89	1.78
黄泥	$N_1K_0$	105.3	175.8	-105.3	-175.8				
	$N_1K_1$	136.0	190.6	-31.0	-54.1	29.2	10.8	5.53	7.41
	$N_1K_2$	139.4	201.7	10.6	-6.72	22.7	13.3	4.67	5.64
	$N_1K_3$	154.3	228.0	40.7	25.5	25.1	20.6	3.75	3.16
	$N_2K_0$	128.4	181.5	-128.4	-181.5				
	$N_2K_3$	171.6	246.1	23.4	7.4	22.2	25.5	4.65	5.18

### 2.2.2 水稻植株的钾素利用率

由表 3 可见,在中量氮肥( $N_1$ )水平下,红黄泥田  $N_1K_1$ 、 $N_1K_2$ 、 $N_1K_3$  早稻的钾素利用率平均为 30.9%,黄泥田的平均为 25.7%。黄泥田各施钾处理的晚稻钾素利用率较低。这可能与该区域稻草还田有关。对早、晚稻高量氮肥( $N_2$ )水平与中量氮肥( $N_1$ )水平下的钾素利用率进行比较,发现 2 种土壤早稻高量氮肥配施高量钾肥( $N_2K_3$ )的钾素利用率均低于中量氮肥配施高量钾肥( $N_1K_3$ )的;晚稻则相反,高量氮肥配施高量钾肥( $N_2K_3$ )的钾素利用率高于中量氮肥配施高量钾肥( $N_1K_3$ )的。

### 2.2.3 水稻植株的钾素农学效率

由表 3 可见,在中量氮肥水平( $N_1$ )下,早、晚稻黄泥田的钾素农学效率比红黄泥田的高。黄泥田

$N_1K_1$ 、 $N_1K_2$ 、 $N_1K_3$  早稻的钾素农学效率平均为 4.65  $kg/kg$ ,红黄泥田的平均为 1.15  $kg/kg$ 。黄泥田晚稻  $N_1K_1$ 、 $N_1K_2$ 、 $N_1K_3$  的钾素农学效率平均为 5.40  $kg/kg$ ,红黄泥田的平均为 3.35  $kg/kg$ 。对 2 种土壤早、晚稻的钾素农学效率进行比较,发现晚稻的钾素农学效率均比早稻的高。这表明对于湖南省丘陵双季稻区土壤更应注重晚稻钾肥的施用,以发挥钾素资源的最大农学效率。

### 2.2.4 2 种土壤的钾素盈亏状况

在中量施氮( $N_1$ )和高量施氮( $N_2$ )水平下,早、晚稻不施钾肥时 2 种土壤钾素均处于亏缺状态,且亏缺量随氮肥用量的增加而增加。红黄泥田  $N_1K_0$  和  $N_2K_0$  早稻的土壤钾素亏缺量分别为 87.3、113.5  $kg/hm^2$ ,晚稻的分别为 108.2、113.6  $kg/hm^2$ 。黄泥田  $N_1K_0$  和  $N_2K_0$  早稻土壤的钾素亏缺量分别为

105.3、128.4 kg/hm<sup>2</sup>, 晚稻的分别为 175.8、181.5 kg/hm<sup>2</sup>。在中量施氮水平(N<sub>1</sub>)下, 2 种土壤早、晚稻钾素亏缺量均随钾肥施用量的增加而降低。当早稻钾肥施用量增加到 K<sub>2</sub> 和 K<sub>3</sub> 水平时, 2 种土壤呈钾素盈余状态, 且盈余量均随施钾量的增加而增加, 即 N<sub>1</sub>K<sub>2</sub> 和 N<sub>1</sub>K<sub>3</sub> 呈土壤钾素盈余状态。2 种土壤早、晚稻的钾素盈余量随氮肥施用量的增加而降低, 即 N<sub>1</sub>K<sub>3</sub> 处理的钾素盈余量比 N<sub>2</sub>K<sub>3</sub> 处理的高。这一结果表明, 在该试验条件下, 在早稻施 N 150 kg、晚稻施 N 195 kg 的基础上, 要维持土壤钾素表观平衡, 早、晚稻至少需分别施用 K<sub>2</sub>O 150.0、253.5 kg/hm<sup>2</sup>。当增加氮肥施用量时, 必须相应提高钾肥施用量才能维持土壤的钾素平衡。

## 2.3 各处理土壤的速效钾和缓效钾含量

### 2.3.1 土壤速效钾含量

由图 1 和图 2 可见, 在同一施氮水平下, 早稻和晚稻收获后 2 种土壤的速效钾含量均随钾肥施用量的增加而提高。与试验前土壤速效钾含量(表 1)相比, 红黄泥田早稻和晚稻收获后 N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>3</sub> 和 N<sub>2</sub>K<sub>3</sub> 的土壤速效钾含量均增加, 而 N<sub>1</sub>K<sub>0</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>1</sub> 和 N<sub>2</sub>K<sub>0</sub> 的均下降。黄泥田早稻和晚稻收获后各处理土壤的速效钾含量变化趋势与红黄泥田土壤的基本一致。

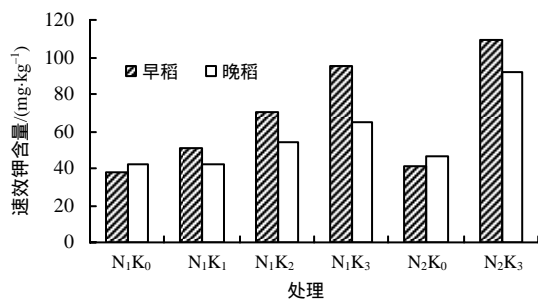


图 1 红黄泥田各处理土壤的速效钾含量

Fig.1 Available K contents of different treatments in reddish yellow soil

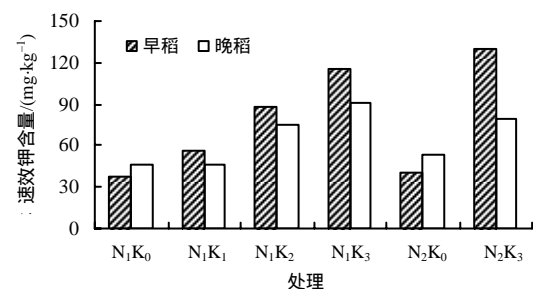


图 2 黄泥田各处理土壤的速效钾含量

Fig.2 Available K content of different treatments in yellow soil

### 2.3.2 土壤缓效钾含量

试验结果(图 3、图 4)表明, 与试前土壤缓效钾含量(表 1)相比, 不同钾肥施用量对红黄泥田早、晚稻收获后土壤的缓效钾含量影响不明显, 黄泥田土壤的缓效钾含量有不同程度的提高。

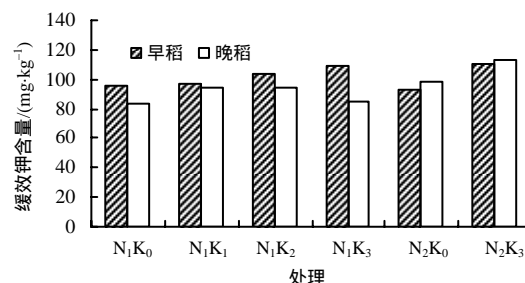


图 3 红黄泥田各处理土壤的缓效钾含量

Fig. 3 Slowly available K contents of different treatments in reddish yellow soil

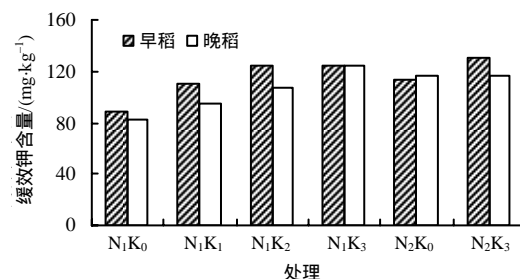


图 4 黄泥田各处理土壤的缓效钾含量

Fig. 4 Slowly available K contents of different treatments in yellow soil

## 2.4 各处理水稻的经济效益

各处理经济效益的成本只考虑肥料成本, 产值只考虑稻谷收入。肥料价格按 N 5.22 元/kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 7.00 元/kg、K<sub>2</sub>O 7.00 元/kg 计算。收入稻谷价格按早稻 2.76 元/kg 和晚稻 2.86 元/kg 计算。表 4 结果表明, 在中量施氮水平(N<sub>1</sub>)下, 红黄泥田早稻各处理的增收效益为负值, 而晚稻 N<sub>1</sub>K<sub>1</sub> 和 N<sub>1</sub>K<sub>2</sub> 分别比 N<sub>1</sub>K<sub>0</sub> 增收 509、886 元/kg。黄泥田早稻产值以 N<sub>1</sub>K<sub>2</sub> 的最高, 为 15 204 元/kg, 比 N<sub>1</sub>K<sub>0</sub> 增收 882 元/kg。各处理晚稻产值随钾肥施用量的增加而提高, 纯收入随钾肥施用量的增加而减少。N<sub>1</sub>K<sub>1</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>3</sub> 分别比 N<sub>1</sub>K<sub>0</sub> 增收 1 936、1 781、519 元/kg。

对同一施钾水平不同施氮水平处理的经济效益进行比较, 发现同一施钾水平(K<sub>3</sub>)下早、晚稻的产值、纯收入和增收效果均随施氮量的增加而提高。

表 4 2 种土壤各处理的钾肥效益

		Table 4 Economic benefits of different treatments in two paddy soils								元/hm <sup>2</sup>	
土壤类型	处理	产值		成本		纯收入		增收		产投比	
		早稻	晚稻	早稻	晚稻	早稻	晚稻	早稻	晚稻	早稻	晚稻
红黄泥田	N <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	14 893	16 196	1 308	1 255	13 585	14 941				
	N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	15 666	17 661	2 115	2 210	13 551	15 451	-34	509	0.96	1.53
	N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	15 257	18 447	2 358	2 620	12 899	15 827	-686	886	0.35	1.65
	N <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	15 439	17 841	2 673	3 029	12 766	14 812	-819	-130	0.40	0.93
	N <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	14 937	17 732	1 543	1 536	13 394	16 196				
	N <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	16 988	19 019	2 908	3 311	14 080	15 708	686	-488	1.50	0.73
黄泥田	N <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	15 630	17 783	1 308	1 255	14 322	16 528				
	N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	17 233	20 675	2 115	2 210	15 118	18 465	797	1 936	1.99	3.03
	N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	17 562	20 929	2 358	2 620	15 204	18 309	882	1 781	1.84	2.30
	N <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	17 647	20 077	2 673	3 029	14 974	17 048	653	519	1.48	1.29
	N <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	16 803	18 275	1 543	1 536	15 260	16 739				
	N <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	19 303	20 315	2 908	3 311	16 395	17 004	1 136	265	1.83	1.15

一般认为,施肥产投比达到 2.0 时经济效益显著,产投比为 1.0~2.0 时经济效益不明显,但农民可接受;产投比低于 1.0 时则会亏本。由表 4 可见,红黄泥田早、晚稻各处理的产投比为 0.35~1.65,比值较低,说明该区域施用钾肥的经济效益不明显。黄泥田早、晚稻施钾产投比为 1.15~3.03,说明黄泥田施用钾肥获得的经济效益比红黄泥田的高。

### 3 结论与讨论

钾是维持水稻高产、稳产的重要营养元素<sup>[9]</sup>。大量研究<sup>[10-11]</sup>表明,稻田土壤施用钾肥能显著提高水稻产量。本研究结果表明,在中量施氮水平下施用钾肥可显著提高 2 种稻田土壤的早、晚稻产量,且晚稻的增产效果高于早稻,因此,为发挥钾肥的最佳增产效应,应重视稻-稻轮作体系中早稻与晚稻钾肥的合理分配,根据不同生态区域土壤的钾素状况和早、晚稻的钾肥增产效应差异,采取“早稻轻,晚稻重”的分配原则。

据报道,氮钾是正互作效应<sup>[12]</sup>。本研究中,在施钾或不施钾条件下,早、晚稻产量均随施氮量的增加而提高,早稻的增产效果尤为显著。2 种土壤高量氮肥配施高量钾肥的增产效果尤为显著,说明在湖南省双季稻区缺钾土壤上,氮、钾呈正互作效应。

通常认为土壤供钾能力愈低,钾肥的增产效果愈显著,钾素利用率越高<sup>[13]</sup>。本试验中,2 种土壤

的钾素利用率差异显著,红黄泥田的早、晚稻钾肥农学效率均低于黄泥田。这可能是因为红黄泥田的缺钾程度较黄泥田的更为严重。

南方水稻土因长期不施钾肥而导致土壤钾素严重亏缺,这已成为水稻高产和农民增收的主要限制因素之一<sup>[14-15]</sup>,在长江中游双季稻集约化种植区的表现尤为严重。本试验结果表明,在中量施氮水平(N<sub>1</sub>)下,早稻施 K<sub>2</sub>O 0~105 kg/hm<sup>2</sup> 时土壤钾素呈亏缺状态,亏缺量随施钾量的增加而降低;施 K<sub>2</sub>O 150~195 kg/hm<sup>2</sup> 时钾素呈盈余状态,盈余量随施钾量的增加而增加。晚稻施 K<sub>2</sub>O 0~195 kg/hm<sup>2</sup> 时钾素呈亏缺状态,亏缺量随施钾量的增加而降低;施 K<sub>2</sub>O 253.5 kg/hm<sup>2</sup> 时出现钾素盈余,因此,对于南方双季稻区供钾潜力较低的土壤,若不补充钾肥,将会严重影响氮、磷肥的肥效和作物的产量及品质。即使目前钾素较为丰富的土壤,如果仅靠农田生态系统自身循环,即使暂时不缺钾,长期不施用钾肥也会出现钾亏缺状态。

近年来,南方稻田土壤速效钾含量普遍呈下降趋势,年下降量(K)为 0.58~3.32 mg/kg<sup>[14]</sup>。在目前施肥水平下,农业生产“三要素”中钾素一般处于亏缺状态,部分区域出现严重亏缺<sup>[16-18]</sup>。本试验结果表明,同一施氮水平下土壤速效钾和缓效钾均随施钾量的增加而增加,早、晚稻不施钾处理的土壤速效钾和缓效钾含量均较试验前降低。这表明施

用钾肥是提高水稻产量和保持土壤供钾能力的重要措施。

#### 参考文献:

- [1] 杨锋. 湖南土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1989.
- [2] Wihardjaka A, Kirk G J D, Abdulrachman S, et al. Potassium balances in rainfed lowland rice on a light-textured soil[J]. *Field Crops Research*, 1999, 64: 237–247.
- [3] Yadav R L. Fertilizer productivity trends in a rice-wheat cropping system under long term use of chemical fertilizers[J]. *Expt Agric*, 1998, 34: 1–18.
- [4] 戴平安, 聂军, 刘向华, 等. 湖南省不同生态区农田养分循环与平衡调查研究[C]//农田养分平衡与管理, 中国科学院南京土壤研究所, 国际钾肥研究所(瑞士). 第九次国际钾素讨论会论文集. 南京: 河海大学出版社, 2000: 186–191.
- [5] 郑圣先, 罗成秀, 戴平安. 湖南省主要稻田土壤供钾能力的研究[J]. *中国农业科学*, 1989, 22(1): 75–82.
- [6] Muneshwar Singh, Singh V P, Damodar Reddy D. Potassium balance and release kinetics under continuous rice-wheat cropping system in Vertisol[J]. *Field Crops Research*, 2002, 77: 81–91.
- [7] Kirkman J H, Basker A, Saurupuneni A. Potassium in the soils of New Zealand: A review[J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1994, 37(2): 207–227.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1999.
- [9] 谢建昌, 周健民, Hardter R. 钾与中国农业[M]. 南京: 河海大学出版社, 2000.
- [10] 杨波, 任万军, 杨文钰, 等. 不同种植方式下钾肥用量对水稻钾素吸收利用及产量的影响[J]. *杂交水稻*, 2008, 23(5): 60–64.
- [11] 廖育林, 郑圣先, 黄建余, 等. 施钾对缺钾稻田土壤钾肥效应及土壤钾素状况的影响[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(2): 255–260.
- [12] 王伟妮, 鲁剑巍, 何予卿, 等. 氮、磷、钾肥对水稻产量、品质及养分吸收利用的影响[J]. *中国水稻科学*, 2011, 25(6): 645–653.
- [13] 王亚艺. 水稻-油菜轮作中钾肥效应及作物-土壤体系钾素动态变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [14] 谢建昌, 周健民. 我国土壤钾素研究和钾肥使用的进展[J]. *土壤*, 1999(5): 244–254.
- [15] 李忠佩, 唐永良, 石华, 等. 不同施肥制度下红壤稻田的养分循环与平衡规律[J]. *中国农业科学*, 1998, 31(1): 46–54.
- [16] 廖育林, 郑圣先, 黄建余, 等. 施钾对湖南主要双季稻区钾肥效应及钾素平衡的影响[J]. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2007, 33(6): 754–759.
- [17] 廖育林, 郑圣先, 鲁艳红, 等. 长期施钾对红壤水稻土水稻产量及土壤钾素状况的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(6): 1372–1379.
- [18] 王亚艺, 鲁剑巍, 肖荣英, 等. 湖北省两个生态区水稻施钾效果及农田钾素平衡研究[J]. *土壤*, 2010, 42(3): 473–478.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 王 库