

湖北省两个生态区水稻施钾效果及农田钾素平衡研究^①

王亚艺, 鲁剑巍*, 肖荣英, 李小坤

(华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

摘 要: 在湖北省江汉平原和鄂东南丘陵两个典型的生态区布置田间试验, 研究K肥施用对水稻产量、经济效益及K素平衡的影响。结果表明, 江汉平原生态区水稻产量有随施K量增加而逐渐升高的趋势, 与不施K肥处理相比, 施K (K_2O) 187.5 kg/hm² 时增产量最高为 3 007 kg/hm², 纯增经济效益 4 136 元/hm²; 鄂东南丘陵生态区施K效果显著, 但各施K水平的差异不大, 施K 150 kg/hm² 时水稻的增产量及纯增经济效益最高, 分别为 1 495 kg/hm² 和 1 852 元/hm²。江汉平原生态区各施K处理的K肥平均表观利用率为 74.6%, 低于鄂东南丘陵生态区的 98.7%。研究结果还显示, 两个生态区的农田K素在种植水稻后均呈负平衡, K肥施用可以缓解土壤K素的亏缺。

关键词: 不同生态区; 水稻; 产量; 钾肥效应; 钾素平衡

中图分类号: S143.3

钾 (K) 是水稻生长所必需的营养元素, 水稻对K的吸收量高于N和P^[1]。关于水稻施用K肥的研究已有很多^[2-6], K肥施用在水稻生产中发挥了重要作用。近年来, 由于水稻品种的改良、水稻产量和复种指数的提高、N肥用量相对增加以及有机肥用量不足, 湖北省水稻主产区稻田土壤缺K已成为作物产量和农产品品质提高的限制因素之一。张德才等^[7]研究指出, 1998—2002 年湖北粮棉种植区土壤速效K含量平均下降了 19.0 mg/kg, 据估算, 耕层土壤速效K养分缺乏面积占全省耕地面积的 80%。廖育林等^[8]和刘枫等^[9]对湖南、安徽不同生态区水稻施K效应及土壤K素平衡进行了研究, 结果表明K肥效果显著, 增施K肥对提高农作物产量, 维持土壤肥力具有重要意义。为了明确湖北省不同生态区水稻施K效果, 我们在江汉平

原的洪湖和鄂东南丘陵区分别布置了水稻 K 肥用量试验, 旨在了解和比较湖北省两个典型生态区土壤供 K 特性, 以充分发挥稻田土壤潜在的供 K 能力和合理施用 K 肥, 为维持水稻高产和稻田土壤 K 素可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验点位于湖北省洪湖市 (江汉平原生态区) 和蕲春县 (鄂东南丘陵生态区)。洪湖市的土壤为长江冲积物发育的水稻土, 蕲春县的土壤为花岗片麻岩母质发育的砂壤性水稻土。供试土壤的基本农化性状见表 1。洪湖点供试水稻品种为“两优培九”, 蕲春点水稻品种为“中 9 优 288”。

表 1 供试土壤的基本农化性状

Table 1 Chemical properties of tested soils

试验点	pH	有机质 (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	缓效 K (mg/kg)
洪湖	6.3	36.09	150.9	2.88	83.6	432.5
蕲春	5.4	26.14	209.2	3.88	67.8	363.7

①基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点项目 (2008BADA4B08)、国际钾肥研究所 (IP) 国际合作项目和国家自然科学基金项目 (40571090) 资助。

* 通讯作者 (lujianwei@mail.hzau.edu.cn)

作者简介: 王亚艺 (1983—), 女, 山西运城人, 硕士研究生, 主要研究方向为现代施肥技术。E-mail: wyy19830629@webmail.hzau.edu.cn

洪湖点水稻在 2008 年 5 月移栽, 9 月收获; 蕲春点水稻在 2008 年 6 月移栽, 10 月收获。移栽密度均为 375 000 株/hm²。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理: ①K₀; ②K₁; ③K₂; ④K₃。各处理的 N 肥用量均为 N 195 kg/hm², P 肥均为 P₂O₅ 90 kg/hm², K₂ 处理的 K 肥用量为 K₂O 150 kg/hm², K₁ 处理的 K 肥用量为 K₂ 处理的 75% (K₂O 112.5 kg/hm²), K₃ 处理的 K 肥用量为 K₂ 处理的 125% (K₂O 187.5 kg/hm²)。N 肥分 3 次施用, 移栽时基肥占 60%, 分蘖肥和穗肥各占 20%, P 肥和 K 肥均作基肥一次性施用。

试验设 4 次重复, 小区面积为 20 m², 随机区组排列。

1.3 测定方法

在成熟期对各小区稻谷和秸秆分别测产。同时各小区随机取 10 株植株样品留作 K 素养分测定。

土壤中的 pH、有机质、碱解 N、速效 P、速效 K 和缓效 K 及植株中全 K 的测定均采用常规分析方法^[10]。

1.4 计算方法

本试验数据均采用 Excel 处理和作图, 采用 DPS3.0 统计软件, 用 LSD 法进行统计分析。各重要指标计算公式如下:

K 养分效率 (g/kg) = (施 K 处理产量 - 未施 K 处理产量) / K 肥用量

K 吸收量 (kg/hm²) = (各部分生物学产量 × 相应部分的 K 含量) 之和

K 肥利用率 (%) = (施 K 处理地上部 K 吸收量 - 未施 K 处理地上部 K 吸收量) / 施 K 量

土壤 K 素收支平衡 = K 肥投入量 - 作物收获 K 支出量

2 结果与分析

2.1 施钾对水稻产量的影响

两个生态区的产量结果表明, 施 K 可显著提高稻谷产量和秸秆产量 (表 2)。随着 K 肥用量的提高, 稻谷产量呈增加趋势。江汉平原生态区水稻产量、增产量、增产率均高于鄂东南丘陵生态区, 江汉平原生态区在施 K₂O 187.5 kg/hm² 时稻谷产量最高, 比对照增产 3 007 kg/hm², 增产率为 45.7%, 同时秸秆产量也达到最高; 而鄂东南丘陵生态区在施 K₂O 150 kg/hm² 时稻谷产量最高, 比不施 K 处理增产 1 495 kg/hm², 增产率为 7.4%, 进一步提高 K 肥用量, 稻谷产量呈下降趋势, 3 个施 K 处理间的差异不大, 秸秆产量与籽粒变化趋势一致。

表 2 施用 K 肥对水稻产量的影响 (kg/hm²)

Table 2 Effects of K utilization rates on rice yields

处理	江汉平原生态区 (洪湖点)		鄂东南丘陵生态区 (蕲春点)	
	籽粒产量	秸秆产量	籽粒产量	秸秆产量
K ₀	6 578 dB	6 730 dD	5 464 cB	4 360 bB
K ₁	7 564 cA	7 450 cC	6 737 aA	5 689 aA
K ₂	8 727 bA	8 443 bB	6 959 aA	5 813 aA
K ₃	9 585 aA	9 051 aA	6 858 aA	5 773 aA

注: 小写字母表示处理间差异达 p<0.05 的显著水平; 大写字母表示处理间差异达 p<0.01 显著水平, 下同。

2.2 施钾对经济效益的影响

两个生态区水稻施 K 均获得明显的经济效益, 各施 K 处理增加的收益均远高于增加的投入 (表 3)。增施同量 K 肥时, 江汉平原生态区水稻净收入和产投比总体上高于鄂东南丘陵生态区, 经济效益更好。江汉平原生态区水稻 K₃ 处理获得的净收入最高, 达 4 136 元/hm², 产投比达 7.13。鄂东南丘陵生态区 K₂ 处理净收入最高, 为 1 852 元/hm², 经济效益最好; K₁ 处理的产投比最高, 但净收入最小。

2.3 施钾对水稻钾素含量及吸收量的影响

施 K 可增加水稻籽粒和秸秆的含 K 量 (表 4)。随 K 肥用量的增加, 两个生态区水稻籽粒含 K 量明显增加, 在施 K₂O 187.5 kg/hm² 时, 江汉平原生态区和鄂东南丘陵生态区水稻籽粒含 K 量达到最大值, 分别为 3.7 g/kg 和 2.8 g/kg; 水稻秸秆含 K 量变化趋势与籽粒相同, 与不施 K 处理相比, 施 K 能显著提高秸秆的含 K 量, 各施 K 处理间差异显著。从表 4 可看出, 在 K 肥用量相同的条件下, 江汉平原生态区的水稻籽粒和秸秆含 K 量均比鄂东南丘陵生态区的高。

表 3 施用K肥对水稻经济效益的影响 (元/hm²)

Table 3 Effects of K utilization rates on rice economic profits

处理	收入		增加收入		增加投入	净收入		产投比	
	江汉	鄂东南	江汉	鄂东南		江汉	鄂东南	江汉	鄂东南
	平原	丘陵区	平原	丘陵区		平原	丘陵区	平原	丘陵区
K ₀	10 525	8 742	—	—	—	—	—	—	—
K ₁	12 102	10 779	1 578	2 037	405	1 173	1 632	3.90	4.73
K ₂	13 963	11 134	3 438	2 392	540	2 898	1 852	6.37	4.43
K ₃	15 336	10 973	4 811	2 230	675	4 136	1 555	7.13	3.30

注：水稻价格 1.60 元/kg，K₂O 价格 3.60 元/kg。

表 4 K 肥用量对水稻植株不同部位K含量及吸收量的影响

Table 4 Effects of K utilization rates on K contents and K uptakes in different parts of rices

生态区	处理	K 含量 (g/kg)		K吸收量 (kg/hm ²)		
		籽粒	秸秆	籽粒	秸秆	合计
江汉平原生态区	K ₀	2.8 a	26.8 b	18.1 c	180.5 c	198.5 d
	K ₁	3.0 a	29.2 b	22.8 bc	218.1 b	240.9 c
	K ₂	3.4 a	33.1 a	29.3 ab	279.1a	308.4 b
	K ₃	3.7 a	33.7 a	35.0 a	305.2 a	340.2 a
鄂东南丘陵生态区	K ₀	2.2 a	7.2 d	12.2 b	31.6 d	43.8 d
	K ₁	2.5 a	20.5 c	16.9 ab	116.5 c	133.4 c
	K ₂	2.6 a	25.8 b	18.1 ab	149.8 b	167.9 b
	K ₃	2.8 a	31.6 a	19.5 a	182.5 a	202.0 a

水稻不同部位的K素吸收量测定结果表明，K肥施用对水稻吸K量有明显影响，各处理间差异显著（表4）。不施K时，成熟期水稻籽粒和秸秆中K素吸收量均处于最低水平，适量施K能不同程度地提高水稻的吸K量。在施K₂O 187.5 kg/hm²时，两个生态区水稻吸K量最大，江汉平原生态区水稻总吸K量为 340.2 kg/hm²，其中秸秆吸K量占 89.7%；鄂东南丘陵生态区水稻总吸K量为 202.0 kg/hm²，秸秆吸K量占 90.3%，说明成熟期水稻吸收的K主要积累在秸秆中，这与前人研究结果一致^[11]。

2.4 不同施钾处理的肥料钾吸收量和钾肥利用率

2.4.1 肥料K吸收量

本文中定义不施K处理的水稻K吸收量为作物吸收来自土壤K的量。从表 4 可知，两种类型生态区水稻吸收的总K量随施K量的增加而增加，且施用K肥明显地扩大了两种类型生态区土壤上吸收肥料K和土壤K之间的差异。在江汉平原生态区，3 个施K处理水稻吸收的肥料K量分别占吸K总量（土壤K + 肥料K）的 17.6%、35.6% 和 41.7%，说明水稻吸收来自土壤K量随K肥用量的提高而降

低。但是，在鄂东南丘陵生态区花岗岩发育的砂壤性水稻土上，情况有所不同，3 个施K处理水稻吸收来自肥料K的百分数比例均高于江汉平原生态区，且比例很高。这与江汉平原生态区长江冲积物发育的水稻土供K能力强，水稻对土壤K吸收较多有关。

2.4.2 K肥利用率

水稻K肥利用率随K肥用量的增加而增加（图 1）。江汉平原生态区水稻各个施K处理的K肥利用率分别为 45.2%、87.9% 和 90.7%；鄂东南丘陵生态区则分别为 95.6%、99.3% 和 101.2%，表明鄂东南丘陵生态区各个处理的K肥利用率均高于江汉平原生态区，平均是江汉平原生态区的 1.3 倍。鄂东南丘陵生态区水稻K₃处理吸收的肥料K超过施入的肥料K，原因可能是在本试验中不考虑农田生态系统中水、秧苗等养分的输入以及渗漏、淋失等养分的输出，只考虑施入肥料量和收获作物带走量，同时作物带走量主要受作物产量的影响。

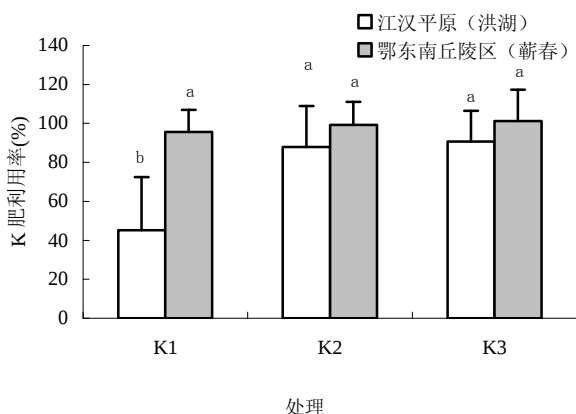


图 1 不同生态区水稻 K 肥表现利用率差异

Fig. 1 Apparent efficiencies of rice K fertilizer between different ecoregions

2.5 不同施钾处理的土壤钾素含量变化

两种类型生态区种植水稻后土壤速效 K 和缓效 K 含量明显降低 (表 5)。不施 K 处理的土壤速效 K 和

缓效 K 含量下降最多, 其中江汉平原生态区分别降低了 55.8 mg/kg 和 90.0 mg/kg, 鄂东南丘陵生态区分别下降了 41.0 mg/kg 和 42.3 mg/kg。而各施 K 处理的两种形态 K 在种植水稻后也均有下降, 江汉平原生态区 3 个施 K 处理的土壤速效 K 和缓效 K 平均分别减少了 44.8 mg/kg 和 69.2 mg/kg, 鄂东南丘陵生态区分别平均减少了 22.6 mg/kg 和 29.8 mg/kg, 说明江汉平原生态区土壤 K 素下降值大于鄂东南丘陵生态区。结果还表明施 K 处理的土壤 K 素下降值有随施 K 量的增加而减少的趋势。

两类生态区水稻收获后土壤速效 K 和缓效 K 含量明显下降, 进一步说明水稻生长过程中吸收的土壤 K 不仅包括速效 K, 还包括部分缓效 K^[12], 因此在评价土壤 K 素肥力状况时, 不能以速效 K 含量单一因素判断, 也要结合缓效 K 来综合考虑。

表 5 不同生态区土壤中速效 K 和缓效 K 的变化 (mg/kg)

Table 5 Changes of available K and slow available K in soils in different ecoregions

处理		江汉平原生态区		鄂东南丘陵生态区	
		土壤速效 K	土壤缓效 K	土壤速效 K	土壤缓效 K
试验前基础土壤		83.6	432.5	67.8	363.7
试验后土壤	K ₀	27.8 b	342.5 a	26.8 b	321.4 a
	K ₁	32.4 b	356.9 a	33.7 b	318.0 a
	K ₂	42.5 a	371.2 a	53.8 a	347.3 a
	K ₃	41.6 a	361.8 a	48.2 a	336.4 a

2.6 不同类型生态区的农田钾素平衡

从本试验 K 素平衡状况分析 (表 6), 所有施 K 处理均有不同程度 K 素亏缺, 且亏缺量并未随施 K 量的增加而减缓。在施 K₂O 112.5 kg/hm² 时两类生态区 K 素亏缺量最小, 江汉平原生态区为 176.6 kg/hm², 鄂东南丘陵生态区为 47.6 kg/hm²。

结合表 5 和表 6 可知, 两个生态区中不施 K 处理的土壤 K 素在种植水稻后减少较多, 相应 K 素亏缺量

也较大。与不施 K 处理相比, 施 K 处理的土壤 K 素含量变化、农田 K 素亏缺量均有所减少, 但各施 K 处理的土壤 K 素下降值、农田 K 素亏缺量与 K 肥用量之间并无明显相关关系, 这与随 K 肥用量的增加水稻吸 K 量也增加有关。结果还表明, 在相同施 K 处理条件下, 江汉平原生态区种植水稻后土壤速效 K 和缓效 K 含量下降值大于鄂东南丘陵区, K 素平衡变化趋势与其一致。

表 6 不同类型生态区不同处理的 K 素平衡状况 (K₂O, kg/hm²)

Table 6 K balances under different K treatments in different ecoregions

处理	江汉平原生态区			鄂东南丘陵生态区		
	输入量	输出量	平衡	输入量	输出量	平衡
K ₀	0	238.2	-238.2	0	52.6	-52.6
K ₁	112.5	289.1	-176.6	112.5	160.1	-47.6
K ₂	150	371.5	-221.7	150	202.3	-52.3
K ₃	187.5	408.2	-220.7	187.5	242.4	-54.9

注: K 输出量 (按 K₂O 计) = 表 4 的 K 素总吸收量 (按 K 计) × 转换系数 1.2。

3 结论

(1) 在湖北省不同生态区, 施K均能显著提高水稻产量。江汉平原生态区施K处理的水稻籽粒的增产量与增产率分别为 2 047.3 kg/hm²和 31.12%, 明显高于鄂东南丘陵生态区 (1 362.6 kg/hm²和 24.94%)。

江汉平原生态区水稻在K₃ (K₂O 187.5 kg/hm²) 水平下水稻产量最高, 稻谷产量可达 9 585 kg/hm², 净收入达 4 136 元/hm²。鄂东南丘陵生态区水稻在K₂ (K₂O 150 kg/hm²) 水平下获得最高产量 6 959 kg/hm², 净收入为 1 852 元/hm², 施K效果最好, 继续增施K肥, 水稻产量有降低的趋势。

(2) 施K可增加水稻籽粒和秸秆的K含量和吸收量。随K肥用量的增加, 两个生态区水稻籽粒和秸秆含K量明显增加, 在施K₂O 187.5 kg/hm²时, 两个生态区水稻K素含量达到最大。水稻K吸收量变化趋势与含K量一致, K肥施用对水稻吸K量有明显影响, 各处理间差异显著。在K肥用量相同的条件下, 江汉平原生态区的水稻含K量和K吸收量均比鄂东南丘陵生态区的高。

(3) 不同生态区水稻K肥利用率不同。江汉平原生态区 3 个施K处理K肥利用率平均为 74.6%, 鄂东南丘陵生态区平均为 98.7%, 江汉平原生态区水稻K肥利用率明显低于鄂东南丘陵生态区, 可能是两类生态区土壤供K能力的大小及质地不同造成的影响^[13]。

两个生态区种植水稻后土壤速效K和缓效K含量均有不同程度的降低, 其中缓效K的下降值大于速效K。4 个处理中不施K处理下降的最多, 江汉平原生态区土壤速效K和缓效K含量分别下降 55.8 mg/kg和 90.0 mg/kg, 鄂东南丘陵生态区分别下降 41.0 mg/kg和 42.3 mg/kg, 江汉平原生态区K素含量下降值比鄂东南丘陵生态区大。

(4) 在水稻施K₂O 112.5、150 和 187.5 kg/hm²的条件下, K素平衡均出现亏缺。本试验中K素输出量为稻谷和秸秆吸收的总K量, 从表 2 和表 4 可知, 两类生态区水稻秸秆中K的吸收量远大于籽粒中K的吸收量, 江汉平原生态区水稻秸秆吸K量为籽粒吸K量的 8.7 ~ 10.0 倍, 鄂东南丘陵生态区为 2.6 ~ 9.4 倍, 说明水稻吸收的K主要分配在秸秆中, 秸秆带走了大量的K素, 从而造成K素亏缺。因此本研究与谭德水等^[14]和孙星

等^[15]研究结果一致, 因此要提倡秸秆还田, 从而提高土壤肥力。

参考文献:

- [1] 张选怀, 吴明山. 水稻施用钾肥的效应. 磷肥与复肥, 2003, 18(5): 63
- [2] 贾彦博, 杨肖娥, 王为木. 不同供钾水平下水稻钾素吸收利用与产量的基因型差异. 水土保持学报, 2006, 20(2): 64-72
- [3] 王允青, 刘英, 况晶, 郭熙盛. 安徽江淮丘陵区杂交水稻钾肥效应初报. 土壤肥料, 2005(3): 36-38
- [4] Shen MX, Yang LZ, Yao YM, Wu DD, Wang JG, Guo RL, Yin SX. Long-term effects of fertilizer managements on crop yields and organic carbon storage of a typical rice-wheat agroecosystem of China. Biol Fertil. Soils, 2007(44): 187-200
- [5] 谢建昌, 周建民, R.Hardter 主编. 钾与中国农业. 南京: 河海大学出版社, 2000
- [6] 胡泓, 王光火. 钾肥对杂交水稻养分积累以及生理效率的影响. 植物营养与肥科学报, 2003, 9(2): 184-189
- [7] 张德才, 罗颖, 刘涛. 湖北省主要耕地土壤地力监测结果分析及对策. 湖北农业科学, 2004(3): 53-55
- [8] 廖育林, 郑圣先, 聂军, 戴平安. 不同类型生态区稻-稻种植制度中钾肥效应及钾素平衡研究. 土壤通报, 2008, 39(6): 612-618
- [9] 刘枫, 何传龙, 王道中, 王本豹. 江淮丘陵区水稻钾、氮吸收特性与施钾效应研究. 土壤通报, 2006, 37(2): 314-317
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析. 中国农业出版社, 2000: 99-110, 263-270
- [11] Hong HU, WANG GH. Nutrient uptake and use efficiency of irrigated rice in response to potassium application. Pedosphere, 2004, 14(1): 125-130
- [12] 史建文, 鲍士旦, 史瑞和. 不同水稻和大麦品种对土壤层间钾的利用. 南京农业大学学报, 1992, 15(1): 65-70
- [13] 张自立, 兰金, 张文才. 土壤有效钾与钾肥施用量关系的研究. 安徽农业科学, 2000, 28(5): 640-641, 664
- [14] 谭德水, 金继运, 黄绍文. 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. 植物营养与肥科学报, 2008, 14(1): 106-112
- [15] 孙星, 刘勤, 王德建, 张斌. 长期秸秆还田对土壤肥力质量的影响. 土壤, 2007, 39(5): 782-786

Study on Effects of Potassium (K) Fertilizer on Rice and K Balance of Paddy Fields in Different Types of Ecoregions of Hubei Province

WANG Ya-yi, LU Jian-wei, XIAO Rong-ying, LI Xiao-kun

(College of Resources and Environment, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Two field experiments of rice were conducted to study the effects of potassium (K) fertilizer on rice yield, economic profit, K utilization rate and on the field K balance in hilly ecoregion of southeastern Hubei and Jiangnan Plain ecoregion. The results showed that K fertilizer increased obviously rice yield and economic profits in the two ecoregions, rice yield in Jiangnan Plain increased with the increase of K utilization rate and the highest increased yield was 3 007 kg/hm² with net economic profit of 4 136 Yuan/ hm² under 187.5 kg/hm² application of K₂O. Rice yield in southeastern Hubei increased significantly with K fertilization but no significant differences among different rates of K fertilization, 150 kg/hm² application of K₂O obtained the highest increased rice yield (1 495 kg/hm²) with net economic profit (1 852 Yuan/ hm²). The average K utilization rate in Jiangnan Plain was 74.6%, which was lower than that (98.7%) in hilly ecoregion of southeastern Hubei. The result also found the negative K balances in the two ecoregions after rice growing, which could be relieved by K fertilizer application.

Key words: Ecosystem areas, Rice, Yield, K use efficiency, K balance