

江西进贤水田长期施肥模式对水稻养分吸收利用的影响^①

要文倩^{1,2}, 秦江涛^{1*}, 张继光^{1,2}, 周睿¹, 张斌¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用江西进贤 26 年的长期定位试验, 研究了不同施肥模式下水稻不同器官养分分配及其与土壤养分的关系。结果表明: 长期施用化肥对土壤有机 C 含量没有显著影响, 但显著提高了土壤中有效养分含量; 有机无机肥配施显著提高土壤有机 C 和有效养分含量。水稻各器官对 N、P、K 的吸收存在明显差异, 籽实中 N、P 的吸收量占总吸收量的比例分别为 56%~73% 和 65%~85%, K 的吸收则主要集中在秸秆 (49%~60%)。籽实产量与 N、P 施用量显著相关, 施肥对根茬生物量的影响比对籽实、秸秆的影响更明显; 土壤养分状况显著影响水稻籽实、秸秆与根茬的生物量。N、P、K 化肥的均衡施用及有机-无机配施提高了水稻籽实产量, 其中 NPK+OM 处理籽实产量最高, 较对照增产 73.4%, 2NPK 与 NPK 处理分别增产 59.5% 和 35.2%; 配合施肥可以提高肥料表观利用率。水稻籽实、秸秆与根茬产量受土壤性质的影响显著, 全 P、速效 P 及碱解 N 与水稻总生物量极显著相关 (相关系数分别为 0.89, 0.98 和 0.95)。

关键词: 施肥模式; 水稻生物量; 养分吸收; 土壤性质

中图分类号: S147

农田长期施肥过程中, 不同施肥模式不仅改变了土壤养分收支状况, 深刻影响系统生产力, 而且对环境可能产生潜在危害^[1]。为降低环境污染风险, 通过控制土壤养分收支平衡提高农田生态系统生产力和养分利用效率受到高度重视^[2-3]。南方低丘红壤稻田生态系统的水稻生产在我国粮食生产中占有重要地位^[4], 长期施肥对红壤稻田水稻产量及土壤肥力的影响已有大量报道。普遍认同的看法是 N、P、K 肥进入稻田系统可以增加土壤 N、P、K 的养分库^[5-7], 有机-无机肥配合能更有效地促进土壤有机质的积累^[8-9], 随着肥料配施均衡程度的增加, 系统生产力逐渐提高^[10-11]。作物残体返田利于土壤有机质的积累和养分含量的提高, 进而促进水稻产量提高^[12]。但是从水稻不同部位生物量、养分分配利用来系统分析生产力与土壤性质和养分利用效率关系的研究尚不多见^[2]。本研究利用长期定位施肥试验, 旨在明确不同施肥模式对稻田地上部分和地下部分生物量和籽粒产量的影响; 并确定不同施肥模式下水稻不同器官养分分布及其对土壤养分状况和养分利用效率的影响。研究结果对理解长期不同施肥模式下农田生态系统的持续性有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点为江西省红壤研究所的长期定位试验地 (116°20'24"N, 28°15'30"E), 属于中亚热带湿润季风气候区, 平均海拔高度 26 m。月平均最高气温与最低气温分别为 29.9°C 和 5.5°C, 年均温 17.6°C, 年积温 6480°C, 年均降雨量 1727 mm, 无霜期 289 天。土壤母质为第四纪红黏土, 剖面特征为 A-P-W1-W2-G 型, 属于潴育型水稻土。1981 年设定长期定位试验前的土壤性质为耕层土壤 pH 5.4, 有机 C 16.3 g/kg, 全 N 1.49 g/kg, 全 P 0.44 g/kg, 全 K 10.39 g/kg; 碱解 N 144 mg/kg, 有效 P (Olsen-P) 9.5 mg/kg, 速效 K (NH₄OAC-K) 81.2 mg/kg, 盐基总量 CEC 27 cmol/kg, 黏粒含量 (<0.002 mm) 241g/kg。

1.2 试验设计

长期定位试验始于 1981 年早稻^[13], 前 5 年为双季稻绿肥轮作制, 1986 年后改为稻-稻-冬闲耕作制, 水稻品种每 5 年更换一次。试验共设 9 个处理: ①不施肥 (CK); ②施 N 肥 (N); ③施 P 肥 (P); ④施 K 肥 (K); ⑤施 N、P 肥 (NP); ⑥施 N、K 肥 (NK);

①基金项目: 国家 973 项目 (2005CB121107) 和中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX1-YW-09-08) 资助。

* 通讯作者 (jqtqin@issas.ac.cn)

作者简介: 要文倩 (1984—), 女, 甘肃庆阳人, 硕士研究生, 主要从事农田土壤养分循环的研究。E-mail: wqyao@scbg.ac.cn

⑦施 N、P、K 肥 (NPK); ⑧双倍 N、P、K 肥 (2NPK); ⑨有机-无机配施 (NPK+OM)。每个处理 3 次重复, 随机排列, 小区面积为 46.6 m²。施肥用量及施肥方式分别为: 水稻单季施用尿素 (N 90 kg/hm²)、钙镁磷肥 (P 45 kg/hm²)、氯化钾 (K 75 kg/hm²); 二级量加倍; NPK + OM 处理除施用化肥外, 有机肥 22.5 t/hm² (早稻施新鲜紫云英, 晚稻施猪粪)。有机肥和钙镁磷肥作基肥施用, N 肥和 K 肥在水稻返青后和分蘖盛期按 6:4 比例分两次追施。

1.3 采样及测定方法

2007 年两季水稻收获时按常规要求考种, 分小区单收、单晒、单称计算产量。收获前 2 天每小区随机采取籽实、秸秆和水稻根茬 (采取土深 20 cm 的水稻根茬) 样品各 6 份, 65℃ 烘干后测定各部分生物量。植株各部分的养分含量经 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后, 全 K 用火焰光度计法测定, 全 P 用钼锑抗比色法测定, 全 N 用微量凯氏定氮法测定^[14]。土样于晚稻收获后在各小区中随机选 5 点采样层土 (0~20 cm) 混匀, 带回实验室风干过筛后测定基本理化性质, 具体测定方法参照土壤农业化学分析方法^[14]。

有机肥的 N、P、K 养分 (kg/hm²) = 有机肥用量 (kg/hm²) × 有机肥的 N、P、K 含量 (kg/hm²)。

当年施入肥料的 N、P、K 表观利用率 = (施肥区植株总吸 N 量 - 对照区植株总吸 N 量) / 施肥量 × 100%。

养分平衡计算方法: 采用表观平衡法, 即养分投入量与养分支出量的差值, 正值表示盈余, 负值表示亏缺。养分投入仅包括施肥带入的养分, 未考虑因降水或灌溉、大气沉降等带入的养分; 养分支出仅包括因作物收获而带出的养分, 未包括因淋洗、挥发和反硝化造成的养分损失^[15]。

1.4 数据分析

数据采用 SAS 8.2 统计软件进行方差分析。水稻生物量和土壤性质分别采用杜凯氏 HSD 检测法 (Tukey's HSD) 和最小显著差法 (Fisher's LSD) 对平均值差异显著性检验 (p < 0.05)。

2 结果与讨论

2.1 施肥对土壤性质和养分含量的影响

水稻收获后土壤性质和养分含量如表 1 所示。可以看出, 与对照相比, 所有施肥处理的全 N 含量都有所提高 (K 处理除外); 所有施 P 肥处理的全 P 含量显著提高; 各处理的全 K 含量差异不显著, 说明土壤全 K 含量不受施肥影响, 施 N、P 肥能显著增加土壤中的 N、P 含量, 土壤中的 N、P 主要来自于施 N、P 肥。各处理间的速效 P 含量差异尤为显著, NPK+OM 处理与 K 处理间差异达 98.5 g/kg, 碱解 N 和速效 K 含量也差异显著 (p < 0.05)。土壤速效 K 含量受施肥影响显著的原因可能是土壤中速效 K 含量与 K 肥输入量和水稻吸 K 量的平衡有关^[16], 对于生物量较高的 NPK+OM、2NPK 和 NPK 处理, 其吸 K 量大, 土壤速效 K 的损耗多, 不能补充土壤速效 K 库的损耗; 而 N、NK、K 及 CK 处理生物产量低, 吸收的速效 K 少, 土壤速效 K 含量相对较高, 从而增加了土壤速效 K 库。与 CK 相比, 仅 NPK+OM 处理土壤有机 C 含量显著提高, 表明施用化肥对土壤有机 C 的影响相对较小, 这可能是因为土壤有机质增加主要来自直接输入有机肥或增加根茬的返田量^[17], 而施化肥虽使地下部生物量增加, 但产量的提高又加大了地上部生物量的养分支出^[18]。对于施用等量化肥的各处理而言, NPK 处理的全量养分和有机质含量均不是很高, 但该处理总生

表 1 2007 年晚稻收获后不同施肥处理耕层土壤有机 C 和养分含量变化
Table 1 SOC and nutrient contents of cultivated layers under different fertilizer treatments

处理	pH	有机 C (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	全 K (mg/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)
CK	5.2	19.4 b	2.02 e	0.54 e	9.23 a	156 d	13.4 d	52.0 cd
N	5.2	19.8 b	2.06 de	0.48 e	9.30 a	163 c	9.6 d	48.0 d
P	5.3	20.0 b	2.11 bcd	0.74 cd	9.26 a	151 e	34.0 c	49.1 d
K	5.3	20.0 b	2.02 e	0.51 e	9.23 a	155 de	9.5 d	69.9 a
NP	5.3	20.1 b	2.12 bcd	0.69 d	9.32 a	162 c	25.1 c	56.0 bcd
NK	5.2	21.0 b	2.17 b	0.52 e	9.29 a	164 c	12.6 d	62.1 abc
NPK	5.3	20.9 b	2.09 cde	0.84 c	9.25 a	165 c	31.5 c	63.0 ab
2NPK	5.2	20.8 b	2.15 bc	1.03 b	9.35 a	177 b	75.9 b	60.0 abc
NPK+OM	5.2	25.8 a	2.64 a	1.31 a	9.24 a	208 a	108 a	67.5 a
LSD (0.05)	0.12	1.9	0.07	0.14	0.5	4.5	10.3	10.3

注: 同一列数据字母不同表示处理间差异显著 (p < 0.05), 下同。

物量却最高，说明养分配施得越均衡，通过作物吸收带出生态系统的养分量也就越多，因此滞留在土壤库中的养分量就越少，这与周卫军等^[11,19]的研究结果相符。

总的来说，除全 K 含量外，NPK+OM 处理的有机质及各种养分含量均显著高于施化肥的处理 ($p < 0.05$)，说明化肥中的养分更易被作物吸收，不利于养分的积累，而含有机肥的处理能有效促进有机质的积累。长期施肥过程中，通过不同施肥模式带来的养分输入改变了土壤的养分含量，引起了土壤性质的变化，有机-无机配施更利于增加土壤养分库容。

2.2 水稻籽实、秸秆和根茬的生物量及其与土壤性质的关系

由表 2 可知，不同施肥模式不仅影响水稻籽粒产

量，而且影响秸秆与根茬生物量。籽实产量结果表明，有机-无机肥配施及 N、P、K 均衡施肥可显著提高产量，其中 NPK+OM 处理最高，增产 73.4%，2NPK 与 NPK 处理分别增产 59.5% 和 35.2%。各处理秸秆生物量的变化与籽实产量变化基本一致，其排列顺序为 NPK+OM、2NPK > NPK > NP ≥ N、NK、P、CK ($p < 0.05$)，而各处理间根茬生物量变化与产量和秸秆生物量变化略有不同，其顺序是 NPK+OM、2NPK > NPK ≥ NP、NK、N、P、K > CK ($p < 0.05$)，单施化肥的处理根茬产量高于 CK 的结果反映出施肥对根茬生物量的变化影响较大。试验结果还表明，N、P、K 均衡施肥及有机-无机配施有利于提高系统的生产力，配施的养分越全面，系统生产力越高，这与前人研究结果一致^[8-11]。

表 2 不同施肥处理对水稻籽粒、秸秆和根茬生物量的影响

Table 2 Biomasses of rice grains, straw and roots under different fertilizer treatments

处理	籽实		秸秆		根茬		总生物量
	产量 (kg/hm ²)	A (%)	产量 (kg/hm ²)	B (%)	产量 (kg/hm ²)	C (%)	
CK	5 952 (364) c	50.72	3 639 (146) cd	31.01	2 168 (43) d	18.47	11 736 c
N	6 436 (418) c	49.13	4 082 (221) cd	31.16	2 585 (127) bc	19.73	13 101 c
P	6 464 (199) c	51.58	3 731 (142) cd	29.77	2 336 (113) bc	18.64	12 532 c
K	5 479 (364) c	49.47	3 440 (159) d	31.06	2 157 (155) c	19.48	11 075 c
NP	6 829 (110) bc	49.18	4 371 (145) c	31.48	2 687 (61) bc	19.35	13 887 bc
NK	5 979 (187) c	47.93	4 115 (89) cd	32.99	2 380 (139) bc	19.08	12 474 c
NPK	8 014 (217) b	49.05	5 331 (335) b	32.63	2 992 (229) b	18.31	16 338 b
2NPK	9 457 (674) a	44.71	7 482 (424) a	35.37	4 212 (383) a	19.91	21 152 a
NPK+OM	10 279 (539) a	45.23	7 999 (287) a	35.19	4 451 (235) a	19.58	22 728 a

注：产量为 2007 年早稻和晚稻各部分的总产量；A 为籽实产量与总生物量的百分比；B 为秸秆产量与总生物量的百分比；C 为根茬产量与总生物量的百分比；不同小写字母表示处理之间 LSR0.05 分析产量差异显著；括号内数据为标准差。

本试验对系统生产力的研究涉及籽实、秸秆与根茬的产量。研究表明，水稻地上部与地下部生物量均与籽实产量显著相关，其中秸秆与产量的相关系数为 0.984** ($n = 9$)，根茬为 0.983** ($n = 9$)；秸秆占总生物量比例为 29.77% ~ 35.37%，根茬占总生物量比例为 18.31% ~ 19.91%，秸秆与根茬占总生物量的比例高达 48.41% ~ 55.29%。

水稻生物量与土壤性质的相关性分析表明 (表 3)，土壤有机质及 N、P 养分含量对水稻各部分生物量影响显著 ($p < 0.05$)，尤其是全 P、速效 P 和碱解 N 对其影响达极显著相关 ($p < 0.01$)，与总生物量的相关系数分别为 0.95, 0.95 和 0.89 ($n = 5, p < 0.01$)。

2.3 施肥对水稻籽实、秸秆和根茬的养分吸收利用养分平衡的影响

不同施肥模式下水稻籽粒、秸秆和根茬中 N、P、K 的吸收量如表 4 所示。可以看出，① N 吸收量：籽

表 3 2007 年早稻与晚稻平均生物量与土壤性质的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between soil properties and average rice yield in 2007

土壤性质	籽实	秸秆	根茬	总生物量
pH 值	-0.29	-0.39	-3.38	-3.35
有机 C	0.77*	0.78*	0.77*	0.78*
全 N	0.76*	0.76*	0.76*	0.76*
碱解 N	0.88**	0.90**	0.9**	0.89**
全 P	0.96**	0.93**	0.93**	0.95**
速效 P	0.95**	0.94**	0.95**	0.95**
速效 K	0.33	0.41	0.37	0.37

注：*表示 $p < 0.05$ 水平上显著；**表示 $p < 0.01$ 水平上显著。

实吸 N 比例为 56% ~ 73%，水稻对 N 的吸收主要集中在籽实中。与 NPK 处理相比，NPK + OM 与 2NPK 处理水稻对 N 的吸收量显著提高，N、NP 处理与 NPK 处理相当，NK、P、CK 及 K 处理的水稻对

N 的吸收明显降低, 分别是 NPK 处理的 76.12%、68.43%、62.18% 和 56.69%, 说明均衡施肥促进了 N 素吸收, N、P 配施能促进 N 的吸收, 而不施肥或单施 P 肥或不施 P 肥时籽实 N 吸收量较低。② P、K 吸收量: 籽实吸 P 比例为 65% ~ 85%, 水稻对 P 的吸收也主要集中在籽实中; 秸秆吸 K 比例达 49% ~

60%, K 的吸收主要集中在秸秆中。与 CK 相比, 仅 NPK + OM 与 2NPK 处理显著提高水稻对 P、K 的吸收 ($p < 0.05$), 而其他处理与 CK 差异不显著 ($p > 0.05$), 说明水稻对 P、K 的吸收受肥料投入总量的影响较大, 曲均峰等^[20]、Dawe 等^[21]的报道也证实了一结论。

表 4 不同施肥对水稻籽粒、秸秆和根茬的营养吸收的影响

Table 4 Effects of different fertilizer treatments on nutrient uptake of rice grains, straw and roots

水稻部位	处理	N		P		K	
		年吸收量 (kg/hm ²)	吸收比例 (%)	年吸收量 (kg/hm ²)	吸收比例 (%)	年吸收量 (kg/hm ²)	吸收比例 (%)
籽实	CK	51.79 de	69	18.01 bcd	85	7.97 c	41
	N	66.45 cde	68	18.89 bcd	84	10.94 abc	40
	P	59.85 de	73	24.67 bc	82	10.24 bc	37
	K	48.02 e	71	15.46 cd	83	10.3 bc	39
	NP	71.67 cd	68	27.61 b	82	10.45 bc	37
	NK	62.5 cde	68	14.02 d	81	11.00 abc	40
	NPK	82.71 bc	69	23.07 bcd	77	14.74 ab	38
	2NPK	102.61 b	57	43.42 a	75	18.61 a	34
	NPK+OM	124.32 a	56	43.73 a	65	18.56 a	33
秸秆	CK	11.92 c	16	2.06 c	10	9.58 c	49
	N	13.98 c	14	1.85 c	8	13.82 bc	50
	P	11.51 c	14	3.33 c	11	15.62 bc	56
	K	9.65 c	14	2.14 c	11	13.54 bc	51
	NP	18.24 c	17	4.1 c	12	16.21 b	58
	NK	15.84 c	17	2.13 c	12	13.98 bc	51
	NPK	21.06 c	18	4.57 c	15	21.14 b	54
	2NPK	41.53 b	23	9.92 b	17	31.33 a	58
	NPK+OM	61.53 a	28	15.47 a	23	33.68 a	60
根茬	CK	10.87 bc	15	1.16 bc	5	2.13 a	11
	N	16.79 b	17	1.68 bc	7	2.75 a	10
	P	10.71 bc	13	1.93 bc	6	1.99 a	7
	K	10.32 c	15	1.06 c	6	2.47 a	9
	NP	15.97 bc	15	2.071 bc	6	1.53 a	5
	NK	12.96 bc	14	1.19 bc	7	2.53 a	9
	NPK	16.19 bc	13	2.13 bc	7	3.06 a	8
	2NPK	35.6 a	20	4.27 b	7	4.38 a	8
	NPK+OM	37.46 a	17	8.47 a	13	4.08 a	7
合计	CK	74.58 ef		21.23 bc		19.67 c	
	N	97.22 cde		22.42 bc		27.51 bc	
	P	82.08 def		29.93 bc		27.85 bc	
	K	68.00 f		18.65 c		26.31 bc	
	NP	105.88 cd		33.78 b		28.19 bc	
	NK	91.30 def		17.34 c		27.51 bc	
	NPK	119.95 c		29.77 bc		38.93 b	
	2NPK	179.74 b		57.61 a		54.32 a	
	NPKOM	223.31 a		67.67 a		56.32 a	

注: N、P、K 的营养分配比例以籽实、秸秆与根茬分别占总吸收量的百分比表示。

水稻对 N、P、K 肥的表观利用率结果表明（表 5），NPK+OM 处理的 N 肥利用率最高，达 39.9%，2NPK 处理其次，为 33.2%，等施 N 量的各处理的 N 素利用率为 10.1%~25.2%，说明在该试验的施肥模式下，随 N 肥施用量的加大 N 肥利用率相应提高。从表中还可以看出，P、K 肥的施用可分别使 N 肥的表观利用率提高 15.1% 和 7.8%；N、K 肥的施用可

分别使 P 肥的表观利用率提高 3.6% 和 5.4%；N、P 肥的施用可使 K 肥的表观利用率提高 0.6% 和 9.0%，籽实产量与施 N 量（ $r = 0.8434^*$ ， $n = 5$ ， $p < 0.05$ ）和施 N、P 量（ $r = 0.941^*$ ， $n = 5$ ， $p < 0.05$ ）显著相关。可见，N、P、K 肥对水稻生长是相互影响的，其配合施用可以互相促进肥料表观利用率的提高，从而达到增产的效果。

表 5 不同施肥处理的养分平衡(kg/hm²)

Table 5 Effects of different fertilizer treatments on nutrient balances

处理	N				P				K			
	施 N 量	年吸收量	盈余量	表观利用率 (%)	施 P 量	年吸收量	盈余量	表观利用率 (%)	施 K 量	年吸收量	盈余量	表观利用率 (%)
CK	-	74.58	-	-	-	21.23	-	-	-	19.67	-	-
N	180	97.22	83.24	13.9	-	22.42	-	-	-	27.51	-	-
P	-	82.08	-	-	39.40	29.93	9.15	22.1	-	27.85	-	-
K	-	68.00	-	-	-	18.65	-	-	124.40	26.31	98.48	12.4
NP	180	105.90	74.59	17.4	39.40	33.78	6.34	25.7	-	28.19	-	-
NK	180	91.30	89.21	10.1	-	17.34	-	-	124.40	27.51	97.96	13.1
NPK	180	120.00	60.01	25.2	39.40	29.77	10.20	27.5	124.40	38.93	85.16	22.1
2NPK	360	179.70	180.12	33.2	78.80	57.61	21.15	40.2	248.80	54.32	194.34	25.0
NPK+OM	223	243.50	466.00	39.9	67.67	58.85	125.3	44.5	56.32	165.60	221.00	26.9

从作物的养分盈余量（N、P、K 养分的投入与带出之差）的分析来看（表 5），NPK+OM 处理的 N、P、K 养分投入过高，养分盈余量最大，分别为 466.00、125.53 和 221.00 kg/hm²。对施化肥的各处理而言，稻田 P 素基本平衡或略有盈余，而 N、K 元素盈余现象十分突出。在投入等量化肥的各处理中，NPK 处理的 N、K 养分盈余最小，这是由于该处理的总生物量较高（表 2），通过作物吸收带出生态系统的养分多，因此滞留在土壤库中的养分较少。

3 结论

(1) 长期施用化肥不显著影响土壤有机 C 含量，但显著提高土壤中有效养分含量，有机无机肥长期配合施用显著提高土壤有机 C 和有效养分含量。土壤养分状况显著影响水稻籽实、秸秆与根茬生物量。

(2) N、P 的吸收主要集中在籽实中，K 的吸收主要集中在秸秆；施肥对根茬生物量的影响比对籽实、秸秆的影响更明显。

(3) 籽实产量与 N、P 施肥量显著相关，与合理配施 N、P、K 化肥及有机-无机配施利于提高水稻产量和养分利用效率，均衡施肥促进了 N 素吸收，随产量的提高 N 肥利用率相应提高。

参考文献：

- [1] 蔡祖聪, 钦绳武. 华北潮土长期试验中的作物产量、氮肥利用率及其环境效应. 土壤学报, 2006, 43(6): 885-890
- [2] 宇万太, 马强, 周桦, 沈善敏. 不同施肥模式对下辽河平原水稻生态系统生产力及养分收支的影响. 生态学杂志, 2007, 26(9): 1350-1354
- [3] 敖和军, 邹应斌, 申建波, 彭少兵, 唐启源, 冯跃华. 早稻施氮对连作晚稻产量和氮肥利用率及土壤有效氮含量的影响. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 772-780
- [4] 李成亮, 何园球, 王艳玲, 刘晓利. 氮磷钾肥对红壤区水稻增产效应的影响. 中国水稻科学, 2007, 21(2): 179-184
- [5] Peng SB, Roland JB, Huang JL, Yang JC, Zou YB, Zhong XH, Wang GG, Zhang FS. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. Field Crops Research, 2006, 96: 37-47
- [6] 杨芳, 何园球, 李成亮, 王艳玲, 林天. 不同施肥条件下旱地红壤磷素固定及影响因素的研究. 土壤学报, 2006, 43(2): 267-272
- [7] Saleque MA, Bhuiyan NI, Abedin MJ, Zaman GM, Panaullah SK. Long-term effect of inorganic and organic fertilizer sources on yield and nutrient accumulation of lowland rice. Field Crops Research, 2004, 86(1): 53-65

- [8] 叶文培, 王开峰, 王凯荣, 谢小立, 李志国. 长期有机物循环对红壤稻田养分及水稻生长的影响. 长江流域资源与环境, 2008, 17(5): 746-750
- [9] Manna MC, Swamp A, Wanjari RH, Ravankarc HN, Mishrad B, Sahae MN, Singha YV, Sahid DK, Sarap PA. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi arid Tropical India. *Field Crops Research*, 2005, 93: 264-280
- [10] 秦江涛, 胡锋, 李辉信, 王一平, 黄花香. 覆草旱作对水稻主要农艺性状的影响及节水效应. 中国水稻科学, 2006, 20(2): 171-176
- [11] 周卫军, 王凯荣, 张光远, 谢小立. 有机与无机肥配合对红壤稻田系统生产力及其土壤肥力的影响. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1 109-1 113
- [12] 陈来林, 王蓉, 王小霞. 不同稻茬秸秆还田量对麦作的影响. 农技服务, 2008, 25(9): 59-60
- [13] 赖庆旺, 李茶苟, 黄庆海. 红壤性水稻土无机肥连施与土壤结构特性的研究. 土壤学报, 1992, 29(2): 168-174
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 308-316
- [15] 刘宏斌. 施肥对北京市农田土壤硝态氮累积与地下水污染的影响 (博士学位论文). 北京: 中国农业科学院, 2002
- [16] 吴晓晨, 李忠佩, 张桃林. 长期不同施肥措施对红壤水稻土有机碳和养分含量的影响. 生态环境, 2008, 17(5): 2 019-2 023
- [17] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云, 尹瑞龄, 施雅琴. 红壤稻田土壤有机质的积累过程特征分析. 土壤学报, 2003, 40(3): 344-352
- [18] Regmi AP, Ladha JK, Pathak H, Pasuquin E, Bueno C, Dawe D, Hobbs PR, Joshy D, Maskey SL, Pandey SP. Yield and soil fertility trends in a 20-year rice-rice-wheat experiment in Nepal. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, 66: 857-867
- [19] 王国强, 周静, 崔键, 刘方平, 梁举, 李辉信. 不同水肥组合对红壤地区早稻产量及氮肥利用率的影响. 土壤, 2008, 40(3): 392-398
- [20] 曲均峰, 李菊梅, 徐明岗, 戴建军. 长期不施肥条件下几种典型土壤全磷和Olsen-P的变化. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 90-98
- [21] Dawe D, Dobermann A, Moya P, Abdulrachman S, Singh B, Lal P, Li SY, Lin B, Panaullah G, Sariam O, Singh Y, Swarup A, Tan PS, Zhen QX. How widespread are yield declines in long-term rice experiments in Asia? *Field Crops Res.*, 2000, 66: 175-193

Effects of Different Patterns of Fertilization on Rice Nutrient Use in Jinxian County of Jiangxi Province

YAO Wen-qian^{1,2}, QIN Jiang-tao¹, ZHANG Ji-guang^{1,2}, ZHOU Rui¹, ZHANG Bin¹

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: To study the effects of different patterns of fertilization on rice production and nutrient use, a 26y long-term field experiment was conducted at the Jiangxi Institute of Red Soil. The results showed chemical fertilizers affected the contents of available nutrients more significantly than soil SOC. The combination of chemical and organic fertilizers increased SOC significantly. N and P contents in grains, which were 56%-73% and 65%-85% respectively, were higher than in straw and roots. K content was higher in straw (49%-60%). Rice productivity increased gradually with the increase of NPK combination application, especially under the combination of chemical and organic fertilizers. The highest productivity of rice occurred in the NPK+OM treatment, followed by the 2NPK and NPK treatments, which were 73.4%, 59.5% and 35.2% higher than CK respectively. The aboveground and underground biomasses were significantly and positively correlated to rice yield. The result suggested that N, P and K combined fertilization could improve the utilizing rate of fertilizers. Soil properties could affect significantly rice grains, straw and roots, and the total biomasses of rice were significantly and positively correlated to the contents of soil total and available P and available N ($r = 0.89, 0.98$ and 0.95).

Key words: Fertilization pattern, Rice biomass, Nutrients accumulation, Soil properties