

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.18117

不同比例化肥与猪粪肥配施对稻穗不同部位磷含量分布的影响

唐先干^{1, 2}, 秦文婧², 谢金水^{1, 2*}, 王 萍², 侯红乾², 李祖章², 刘光荣², 刘增兵²

(1. 江西农业大学, 江西 南昌 330045; 2. 江西省农业科学院, 江西 南昌 330200)

摘 要: 为了综合评价中国南方施用猪粪肥对稻穗不同部位籽粒磷素积累的影响, 本研究在水稻施肥量 $N\ 180\ kg/hm^2$, $N:P_2O_5:K_2O=3:1:2.5$ 情况下, 比较施用化肥 (NPK)、70% 化肥配施 30% 猪粪 (F7M3)、50% 化肥配施 50% 猪粪 (F5M5)、30% 化肥配施 70% 猪粪 (F3M7) 的稻穗不同部位籽粒含磷量。结果发现, 化肥配施猪粪肥能有效促进水稻产量的增加与稻穗含磷量的下降, 但猪粪肥配施与 NPK 处理的水稻籽粒吸磷量无明显差异; 与 NPK 处理相比, 猪粪肥配施可以显著降低一次枝梗与穗上部二次枝梗含磷量, 并能有效降低不同穗位的籽粒含磷量。故猪粪肥能有效影响稻穗不同部位的磷含量, 猪粪肥资源的合理利用有利于水稻的高产稳产。

关键词: 猪粪肥; 含磷量; 枝梗; 水稻; 产量

磷是植物生长发育所必需的大量营养元素之一, 参与植物体内许多重要化合物的合成与代谢。据统计, 我国的磷肥施用量已占全球施用总量的 52%, 集约化耕作土壤的磷累积现象严重, 平均磷素累积量高达 $242\ kg/hm^2$ ^[1-2], 磷引起的面源污染对我国水体总污染的贡献高达 93%^[3]。因此, 如何提高磷肥利用率、降低磷肥投入、减少土壤磷的流失以及提取环境中过剩的磷已成为资源环境领域研究的热点问题。2010 年“第一次全国污染源普查报告”结果显示, 中国畜禽粪便无害化、资源化及商品化处置率仅占 29%, 畜禽养殖业污染已经成为我国农业面源污染之首^[4]。随着环境保护意识的增强, 畜禽粪便的资源化、无害化利用, 越来越引起人们的重视^[5]。有机无机肥配施, 使化肥的速效性和有机肥的持久性相结合, 可明显提高土地生产力和改善土壤性状^[6-11]。

水稻在我国粮食生产中占有重要地位^[12], 关于水稻籽粒养分的吸收利用, 以往的研究大多以全穗籽粒为对象分析环境生态因子对籽粒养分含量的影响, 但很少考虑到同一稻穗不同部位籽粒对生态

环境的适应性差异^[13], 对一个稻穗而言, 由于各枝梗籽粒间存在发育及开花时间上的差异, 因而形成粒重和品质性状有差异的籽粒^[14-19], 故不同部位间养分含量也一定存在差异。但有关水稻穗上不同部位籽粒养分含量的差异及其分布特点, 栽培与环境条件如何影响与调控稻穗不同部位籽粒养分含量, 还鲜有报道。本文通过研究化肥配施猪粪肥对稻穗不同部位磷素分布特征的影响, 以期进一步探明水稻籽粒磷素吸收利用的规律, 探求提高水稻磷肥利用率的技术途径, 为畜禽粪便的资源化利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区状况

试验位于江西省南昌县莲塘镇省农科院试验田内 ($28^{\circ}33'92''N$, $115^{\circ}56'25''E$)。该区域地处中亚热带, 年平均气温 $17.5^{\circ}C$, $\geq 10^{\circ}C$ 积温 $5\ 400^{\circ}C$, 年降水量 $1\ 600\ mm$, 年蒸发量 $1\ 800\ mm$, 无霜期约 280 d。光、温、热资源丰富。试验地土壤为第四纪亚红黏土 (即莲塘层) 母质发育的中潜黄泥田, 其土壤养分状况如表 1 所示。

1.2 试验设计

试验水稻生育期是 2016 年 6 ~ 10 月。

试验共设 4 个处理: ①全化肥对照处理 NPK ($N\ 180\ kg/hm^2$, $P_2O_5\ 60\ kg/hm^2$, $K_2O\ 150\ kg/hm^2$); ②低量猪粪肥配施处理 F7M3, 即 70% 化肥配施 30% 猪粪肥; ③中量猪粪肥配施处理

收稿日期: 2018-03-29; 录用日期: 2018-05-21

基金项目: 国家自然科学基金 (41461043); 国家重点研发计划 (2017YFD0301603); 江西省协同创新专项 (JXXTCX2015003-001)。

作者简介: 唐先干 (1983-), 男, 江西南昌人, 副研究员, 博士, 主要从事土壤肥料与水稻高产栽培的研究。E-mail: tangxiangan707@126.com。

通讯作者: 谢金水, E-mail: 66582578@qq.com。

F5M5, 即 50% 化肥配施 50% 猪粪肥; ④ 高量猪粪肥配施处理 F3M7, 即 30% 化肥配施 70% 猪粪肥。各处理化肥用量以对照处理 NPK 全化肥用量折算, 各处理的猪粪肥用量以猪粪肥的养分含量折算。

猪粪肥养分含量按测定平均值 N 0.45%、 P_2O_5

0.19%、 K_2O 0.60% 计算。无机肥用尿素、过磷酸钙与氯化钾。磷肥和猪粪肥全部作基肥; 化学氮肥 50% 作基肥, 25% 作分蘖肥, 25% 作幼穗分化肥; 钾肥 50% 作分蘖肥, 50% 作幼穗分化肥。小区面积 33.3 m^2 , 3 次重复, 随机区组排列。各处理肥料实物施用量见表 2。

表 1 土壤养分状况

有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH 值
25.71	1.53	0.99	139.22	32.06	75.38	5.39

表 2 不同处理的肥料实物施用量

(kg/hm²)

处理	基肥			分蘖肥		幼穗分化肥	
	过磷酸钙	猪粪	尿素	尿素	氯化钾	尿素	氯化钾
NPK	500.00	0	200.00	97.65	125.00	97.65	125.00
F7M3	310.00	12 000.00	140.00	68.62	65.10	68.62	65.10
F5M5	180.00	20 030.00	98.00	48.82	25.05	48.82	25.05
F3M7	57.00	28 000.00	65.00	26.50	0	26.50	0

1.3 样品采集与测定

采集的水稻品种是赣晚粳 37 号, 采样时间是在水稻成熟收割前 3 d, 该品种一个稻穗一般有 12 个一次枝梗, 根据稻穗结构模式, 将一次枝梗分为上、中、下 3 个部位 (根据整体稻穗穗轴的长度平均分成 3 段, 由于稻穗倒数第 2、3、4 的一次枝梗相隔很近, 故稻穗下部分配了 5 个一次枝梗, 而穗中部是 4 个一次枝梗, 穗下部是 3 个一次枝梗), 然后分别截取一次和二次枝梗上的籽粒。样品经 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮后, 钼锑抗比色法测磷^[20]。

1.4 数据分析

穗位籽粒含 P 量、稻穗含 P 量与水稻吸 P 量计算公式如下:

穗位籽粒含 P 量 = (一次枝梗含 P 量 × 一次枝梗籽粒重 + 二次枝梗含 P 量 × 二次枝梗籽粒重) / (一次枝梗籽粒重 + 二次枝梗籽粒重)

稻穗含 P 量 = [Σ (枝梗含 P 量 × 枝梗籽粒重)] / (Σ 枝梗籽粒重)

水稻吸 P 量 = 稻穗含 P 量 × 产量

使用 DPS 7.05 统计软件进行数据处理, 并应用多重比较 LSD 法进行差异显著性检验; 采用 Excel 2010 作图。

2 结果与分析

2.1 不同比例化肥与猪粪肥配施对枝梗磷含量的影响

猪粪肥配施对枝梗含 P 量的影响如图 1 所示:

(1) 穗上部一次枝梗含 P 量, 猪粪肥处理比 NPK 处理低 8.1% ~ 18.9%; 穗上部二次枝梗, 猪粪肥处理比 NPK 处理显著降低了 13.3% ~ 15.1%。(2) 穗中部一次枝梗含 P 量, 与 NPK 处理相比, 猪粪肥处理显著下降了 10.4% ~ 19.1%; 穗中部二次枝梗含 P 量, 猪粪肥配施处理与 NPK 处理无明显差异。(3) 穗下部一次枝梗籽粒含 P 量, 猪粪肥处理比 NPK 处理显著降低了 9.7% ~ 17.4%; 穗下部二次枝梗, 猪粪肥配施处理的枝梗含 P 量略低于 NPK 处理。故猪粪肥配施对枝梗含 P 量的总体表现为, 猪粪肥配施后一次枝梗含 P 量都明显小于 NPK 处理, 但猪粪肥配施二次枝梗含 P 量, 仅有穗上部显著小于 NPK 处理。表明猪粪肥配施可以有效降低一次枝梗与穗上部二次枝梗含 P 量。

2.2 不同比例化肥与猪粪肥配施对穗位籽粒磷含量的影响

如图 2 所示, 增施猪粪肥同样能显著影响不同穗位的籽粒含 P 量, 与 NPK 处理相比, 穗上部籽粒含 P 量, 猪粪肥处理显著下降了 10.9% ~ 17.0%; 穗中部籽粒含 P 量, F7M3 与 F5M5 处理下降了 3.5% ~ 6.8%, F3M7 处理显著下降了 8.8%; 穗下部籽粒含 P 量, 猪粪肥处理下降了 6.9% ~ 11.9%, 其中 F7M3、F3M7 与 NPK 相比差异显著。故穗位籽粒含 P 量总体表现为, 与 NPK 处理相比, 猪粪肥配施处理能有效降低稻穗不同穗位的籽粒含 P 量。

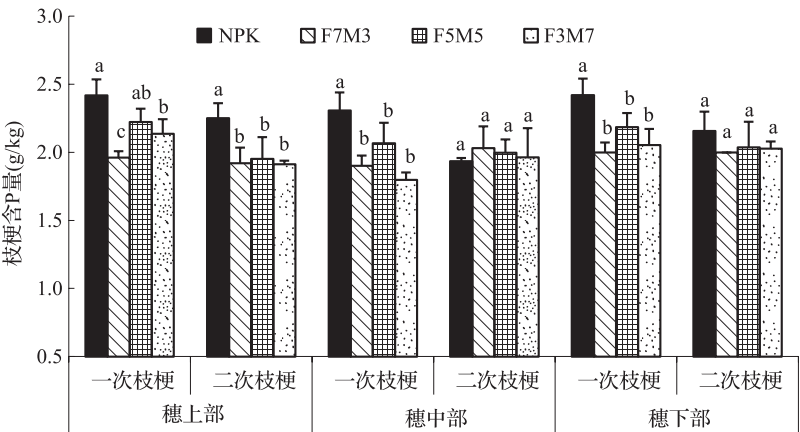


图 1 不同处理稻穗部位的枝梗含磷量

注：图中不同字母表示不同处理不同枝梗之间差异达到 5% 的显著水平。

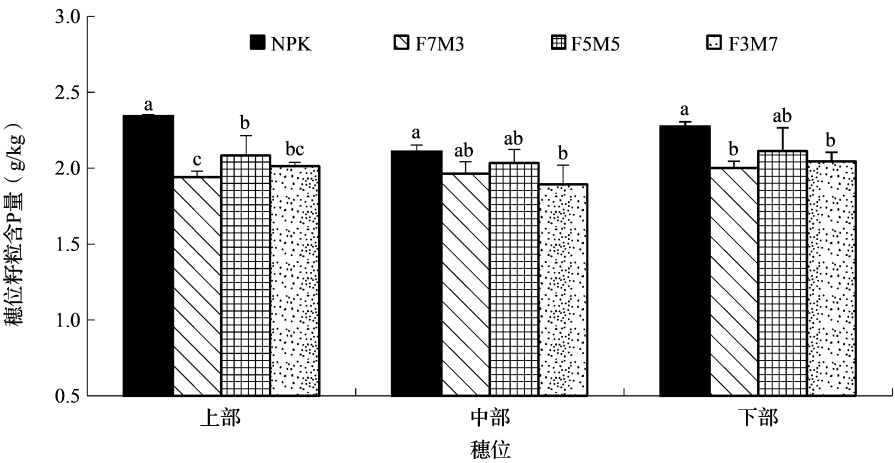


图 2 不同处理间的穗位籽粒含磷量

注：图中不同字母表示不同处理不同穗位之间差异达到 5% 的显著水平。

2.3 不同比例化肥与猪粪肥配施对水稻含磷量与产量的影响

猪粪肥处理的稻穗含 P 量均低于 NPK 处理 (图 3), 与 NPK 处理相比, 猪粪肥处理分别显著下降了 7.2% ~ 11.8%, 表明配施猪粪肥能显著降低稻穗含 P 量。

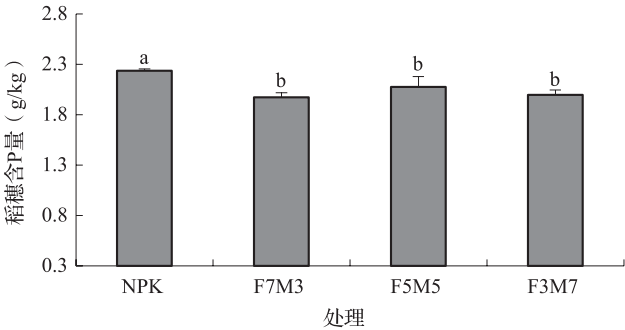


图 3 不同处理间的稻穗含磷量

注：图中不同字母表示差异达到 5% 的显著水平。下同。

水稻产量表现由图 4 可知, 与 NPK 对照相比, 中、低量猪粪肥配施处理水稻产量分别增加了 4.3% ~ 6.2%, 而高量猪粪肥配施 (F3M7) 处理水稻产量显著增加了 14.1%, 随着猪粪肥配施量的增加, 稻谷产量呈现增加的趋势。对于水稻籽粒吸 P

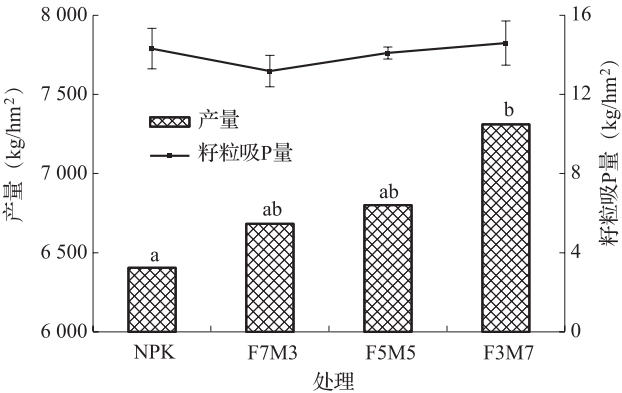


图 4 不同处理的产量与水稻吸磷量

量,猪粪肥配施的水稻籽粒吸P量与NPK处理无显著差异,各处理的水稻吸P量在13.2~14.6 kg/hm²含量范围内。

3 讨论

一般来说,稻穗上部枝梗籽粒的主要灌浆期早于中部枝梗籽粒,中部枝梗籽粒早于下部枝梗籽粒,一次枝梗籽粒又早于二次枝梗籽粒。水稻植物磷含量也同样受多种因素的影响,目前关于水稻植株磷含量方面的研究,主要针对某一时期或主要部位,较为系统和详细的水稻植株磷含量变化规律目前少见报道。本研究中对于稻穗不同部位的含P量,与NPK处理相比,猪粪肥配施可以显著降低一次枝梗和穗上部二次枝梗含P量,猪粪肥配施处理能有效降低稻穗不同穗位的籽粒含P量。这种趋势可能与强、弱势粒的灌浆时间不同有关,对于有机养分如何影响水稻籽粒对磷素的吸收利用,具体原因还有待进一步研究。陈智慧等^[21]认为由于水稻植株钾含量因不同生育期、不同部位而变化很大,根据植株钾含量来进行营养诊断需要考虑取样时期、取样部位,而鞘、叶钾含量比值可能有较好的指示作用。既然稻穗不同部位籽粒的含磷量存在差异,稻穗不同部位按照籽粒开花顺序从上到下一一定区间段取样,将有利于更充分地了解水稻籽粒含磷量的差异化特征。

磷肥可以提高成熟期干物质累积量,改善水稻群体结构,并提高水稻产量^[22-25]。徐明岗等^[26]研究指出,化肥有机肥配施有利于水稻稳产高产,有利于水稻中后期干物质累积和养分吸收。当前我国有机肥料基础资源每年约57亿t实物量,其中畜禽粪尿约38亿t(鲜)^[27],但现阶段我国作物生产主要依赖于化肥,有机肥在养分投入中的比例低。与植物其他必需矿质元素相比,土壤中磷的有效性低、迁移性差,导致部分土壤有效磷供应不足。全国农田土壤从南到北全磷含量变幅为0.31~1.72 g/kg,有效磷的平均含量仅为12.89 mg/kg^[28]。研究表明,25 mg/kg左右的土壤有效磷是保障作物高产的前提^[29],但当土壤有效磷含量超过60 mg/kg时,磷素易通过淋溶损失^[30]。农田土壤磷的有效性过低已成为作物生产的主要限制因素之一,施用磷肥可有效缓解这种现状。然而,大量施用磷肥不仅直接造成磷矿资源的逐渐耗竭,而且导致大量农田土壤中磷素过剩,进而引发一系列高风险的环境问

题。在本试验稻田内,土壤有效磷的含量是32.06 mg/kg(表1),增施猪粪肥能促进水稻产量的增加和稻穗含磷量的下降,但水稻籽粒吸P总量无明显差异。故今后的水稻高产栽培应加强有机肥的利用,为进一步挖掘水稻生产潜力提供了依据。

4 结论

猪粪肥能显著增加水稻产量并降低稻穗含磷量。稻穗不同部位的籽粒含磷量表现为,与NPK处理相比,猪粪肥配施可以显著降低一次枝梗与穗上部二次枝梗含P量,同时能有效降低不同穗位的籽粒含P量,但猪粪肥配施处理水稻籽粒吸P总量与NPK处理相比无明显差异。

参考文献:

- [1] FAO. Fertilizer consumption in nutrients per ha of arable land (2002 and 2009) [EB/OL]. <http://faostat.fao.org/site/405/default.aspx>, 2009.
- [2] Li H, Huang G, Meng Q, et al. Integrated soil and plant phosphorus management for crop and environment in China: a review [J]. *Plant and Soil*, 2011, 349 (1-2): 157-167.
- [3] Ongley E D, Zhang X L, Yu T. Current status of agricultural and rural non-point source pollution assessment in China [J]. *Environmental Pollution*, 2010, 158 (5): 1159-1168.
- [4] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家统计局, 中华人民共和国农业部. 第一次全国污染源普查公报 [R]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/qtjgb/qgqqtjgb/201002/t20100211_30641.html, 2010-02-06.
- [5] 周思邈, 韩鲁佳, 杨增玲, 等. 碳化温度对畜禽粪便水热炭燃烧特性的影响 [J]. *农业工程学报*, 2017, 33 (23): 233-240.
- [6] 侯红乾, 刘秀梅, 刘光荣, 等. 有机无机肥配施比例对红壤稻田水稻产量和土壤肥力的影响 [J]. *中国农业科学*, 2011, 44 (3): 516-523.
- [7] 高菊生, 黄晶, 董春华, 等. 长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响 [J]. *土壤学报*, 2014, 51 (2): 314-324.
- [8] Bi L D, Zhang B, Liu G R, et al. Long-term effects of organic amendments on the rice yields for double rice cropping systems in subtropical China [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009, 129 (4): 534-541.
- [9] Li Z P, Liu M, Wu X C, et al. Effects of long-term chemical fertilization and organic amendments on dynamics of soil organic C and total N in paddy soil derived from barren land in subtropical China [J]. *Soil and Tillage Research*, 2010, 106 (2): 268-274.
- [10] 廖义善, 卓慕宁, 李定强, 等. 适当化肥配施有机肥减少稻田氮磷损失及提高产量 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29 (增

- 刊1): 210-217.
- [11] 张建兵, 杨劲松, 姚荣江, 等. 有机肥与覆盖方式对滩涂围垦农田水盐与作物产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2013, 29 (15): 116-125.
- [12] Peng S B, Tang Q Y, Zou Y B. Current status and challenges of rice production in China [J]. Plant Production Science, 2015, 12 (1): 3-8.
- [13] 董明辉, 惠锋, 顾俊荣, 等. 灌浆期不同光强对水稻不同粒位籽粒品质的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(2): 164-170.
- [14] Yang J C, Peng S B, Visperas R M, et al. Grain filling pattern and cytokine in content in the grains and roots of rice plants [J]. Plant Growth Regulation, 2000, 30 (3): 261-270.
- [15] 董明辉, 陈培峰, 乔中英, 等. 水稻不同粒位籽粒米质对花后不同时段温度胁迫的响应 [J]. 作物学报, 2011, 37(3): 506-513.
- [16] 杨建昌. 水稻弱勢粒灌浆机理与调控途径 [J]. 作物学报, 2010, 36 (12): 2011-2019.
- [17] Mohapatra P K, Patel R, Sahu S K. Time of flowering affects grain quality and spikelet partitioning within the rice panicle [J]. Aust J Plant Physiol, 1993, 20: 231-242.
- [18] 张小明, 石春海, 堀内久满, 等. 粳稻穗部不同部位米粒直链淀粉含量的差异分析 [J]. 作物学报, 2002, 28 (1): 99-103.
- [19] 董明辉, 桑大志, 王朋, 等. 不同施氮水平下水稻穗上不同部位籽粒的蒸煮与营养品质变化 [J]. 中国水稻科学, 2006, 20 (4): 389-395.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [21] 陈智慧, 王火焰, 周健民, 等. 不同钾素水平对水稻不同部位含钾量的影响 [J]. 土壤, 2013, 45 (3): 489-494.
- [22] 王美娥, 陈明, 袁晓明, 等. 磷肥不同施用量对水稻群体和产量的影响 [J]. 上海农业科技, 2015, (3): 139-140.
- [23] 商全玉. 减氮增磷施肥技术对高寒地区水稻产量及物质积累的影响 [J]. 中国稻米, 2013, (5): 81-83.
- [24] 郭朝晖, 李合松, 张杨珠, 等. 磷素水平对杂交水稻生长发育和磷素运移的影响 [J]. 中国水稻科学, 2002, (2): 151-156.
- [25] 王丽萍, 解保胜, 顾春梅, 等. 磷肥运筹和试验品种对寒地粳稻干物质积累与转运的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, (2): 76-81.
- [26] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响 [J]. 中国农业科学, 2008, 41 (10): 3133-3139.
- [27] 牛新胜, 巨晓棠. 我国有机肥料资源及利用 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23 (6): 1462-1479.
- [28] 王永壮, 陈欣, 史奕. 农田土壤中磷素有效性及影响因素 [J]. 应用生态学报, 2013, 24 (1): 260-268.
- [29] Higgs B, Johnston A E, Salter J L, et al. Some aspects of achieving sustainable phosphorus use in agriculture [J]. Journal of Environmental Quality, 2000, 29 (1): 80-87.
- [30] Heckrath G, Brookes P C, Poulton P R, et al. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the broad balk experiment [J]. Journal of Environmental Quality, 1995, 24 (5): 904-910.

Effect of the different ratios of swine manure application on grain P content at different positions of rice spike

TANG Xian-gan^{1, 2}, QIN Wen-jing², XIE Jin-shui^{1, 2*}, WANG Ping², HOU Hong-qian², LI Zu-zhang², LIU Guang-rong², LIU Zeng-bing² (1. Jiangxi Agricultural University, Nanchang Jiangxi 330045; 2. Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang Jiangxi 330200)

Abstract: In order to comprehensively assess the effects of swine manure application on grain P accumulation at different positions of rice spike in south China, four treatments were designed in the experiment, i.e., mineral N, P and K (NPK), 70% chemical fertilizers plus 30% swine manure (F7M3), 50% chemical fertilizers plus 50% swine manure (F5M5), and 30% chemical fertilizers plus 70% swine manure (F3M7), the total amount of nitrogen fertilizer applied in rice was 180 kg/hm², N:P₂O₅:K₂O=3:1:2.5. The results showed that rice yield gradually increased and the P content of rice decreased significantly with the increasing proportion of swine manure. However, no significant difference was observed in total P uptake of rice grains between the swine manure and NPK treatments. Organic swine manure effectively reduced the P content in primary branch and in secondary branch from upper parts of spike, the P content of all parts of rice spike was decreased with the increasing of the rate of swine manure. Swine manure can effectively influence P content in different parts of rice, rational utilization of organic fertilizer resources will be beneficial to high and stable yield of rice.

Key words: swine manure; P content; branch of panicle; rice; yield