

秸秆还田和休耕对赣东北稻田土壤养分的影响^①

庞成庆^{1, 2}, 秦江涛^{2*}, 李辉信^{1*}, 刘金花²

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要:通过田间试验研究了水稻秸秆还田和休耕对稻田土壤肥力的影响。结果表明, 添加秸秆的处理 S_1R_0 和 S_1R_1 土壤有机碳含量分别有高于不添加秸秆的处理 S_0R_0 和 S_0R_1 的趋势, 并在 2011 年早稻收获时达到显著水平。添加秸秆对全量养分的影响并不显著, 但显著增加了土壤碱解氮和速效钾含量。2011 年早稻收获时休耕处理土壤全氮和全磷含量显著高于连续种植水稻的处理。与 2009 年早稻收获时相比, 2011 年早稻收获时 S_0R_0 和 S_1R_0 处理土壤速效磷含量分别提高了 55.5% 和 29.3%, 说明休耕显著提高了土壤速效磷含量。休耕处理土壤中速效钾含量一直维持在较高水平, 而连续种植水稻的处理速效钾含量则逐年下降。

关键词: 秸秆还田; 休耕; 土壤肥力; 稻田

中图分类号: S158.3

农作物秸秆中含有大量的有机质、氮、磷、钾和微量元素, 是农业生产重要的有机肥源之一^[1]。我国每年秸秆收获量大约为 795 Mt^[2-3], 其中水稻秸秆收获量约占总秸秆量的 30%^[4]。秸秆还田作为秸秆利用的一种重要方式, 既可以避免资源浪费和环境污染^[5-6], 而且可以提高土壤的养分水平, 改善土壤结构和理化性状, 优化农田生态环境, 维持作物高产^[7-10]。由于影响机械耕作作业和劳力缺乏等因素, 赣东北地区目前水稻秸秆收获量中只有近 1/2 被直接还田或过腹还田, 其余未被有效利用的大都直接在田间焚烧。影响水稻秸秆直接还田利用的主要问题在于早稻收获后季节紧张影响晚稻栽插, 水稻秸秆分解过程中对矿质氮产生固定作用, 影响苗期水稻生长。因此农民选择早稻收获后在田间集中焚烧水稻秸秆。晚稻收获后, 由于没有冬季耕作习惯, 水稻秸秆通常仅覆盖于地表, 于随后的干燥期在田间间断性地焚烧^[5-6, 11]。一些长期定位实验研究表明东南亚和我国双季稻呈现减产趋势或难以提高的现象^[12-13]。水稻秸秆焚烧导致的有机物还田量的减少、单一施用化肥引起的土壤养分保持和释放、调控能力下降以及某些微量元素的缺乏被认为是重要原因^[14]。

休耕是保持土壤质量、恢复地力、减少病虫害、减少农业污染的重要手段^[15]。长期掠夺式地连续超

负荷耕种, 加大了对土壤的扰动次数, 使土壤中的矿物质、有机质、水分、微生物遭到破坏和丧失, 土壤酸化, 蚯蚓锐减, 破坏土壤的团粒结构, 造成土壤板结、坚硬, 地力下降, 农作物减产^[16-17]。欧美等国的土壤比较肥沃, 一个很重要的原因就是由于他们的耕种方式是休耕轮作制, 而目前我国南方稻区尚未实行休耕制度, 所以探讨休耕对地力提升的作用, 做好统筹安排让一定比例的中低产稻田休耕, 恢复地力是实现农田可持续生产的必要措施。

本试验通过研究秸秆还田配合休耕对稻田土壤养分的影响, 以期明确赣东北双季稻区秸秆还田和休耕对提升地力的作用, 为秸秆还田配合休耕技术的推广应用提供理论指导, 为政府相关部门制定秸秆处理措施和耕作制度提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试验地点

2008—2011 年在江西省鹰潭中国科学院红壤生态站(116°55'E, 28°15'N)建立田间定位试验, 该地区属于中亚热带湿润季风气候区, 月平均最高气温与最低气温分别为 29.9 和 5.5, 年均温 17.6, ≥ 10 年积温 6480, 年均降雨量 1727 mm, 无霜期 289 天。本试验供试稻田土壤属于河流冲积物发育而成的潜育型水稻土, 土壤基本理化性状见表 1。

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201203030)资助。

* 通讯作者(jtqin@issas.ac.cn; huixinli@njau.edu.cn)

作者简介: 庞成庆(1981—), 男, 山东沂水人, 博士研究生, 主要从事农田生态系统养分循环方面研究。E-mail: 372288266@qq.com

表 1 土壤基础理化性状
Table 1 Basic physicochemical properties of soil

体积质量 (g/cm ³)	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全磷 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	全钾 (g/kg)	速效钾 (mg/kg)
112.1	4.94	33.10	1.64	139.04	0.30	5.76	27.26	81.60

1.2 试验设计

试验采用微区设置 4 个处理：不添加秸秆，休耕(S₀R₀)；添加秸秆休耕(S₁R₀)；不添加秸秆，种水稻(S₀R₁)；添加秸秆，种水稻(S₁R₁)。3 次重复，共 12 个小区。秸秆添加量为 7 500 kg/hm²，在每年早稻移栽前的整田时加入。每个微区面积为 1 m × 2 m。试验过程中不施肥，栽培管理措施同当地大田生产。

1.3 取样与测定

分别于水稻移栽前和收获后取 0 ~ 20 cm 水稻土测定土壤养分含量。土壤有机碳采用浓硫酸重铬酸钾外加热法测定；土壤全氮采用半微量凯氏法测定；土壤全钾采用氢氟酸-高氯酸消煮火焰光度计法测定；土壤全磷采用氢氟酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法测定；土壤碱解氮采用扩散皿法测定；土壤速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定；土壤速效钾采用

乙酸铵浸提-火焰光度法测定。

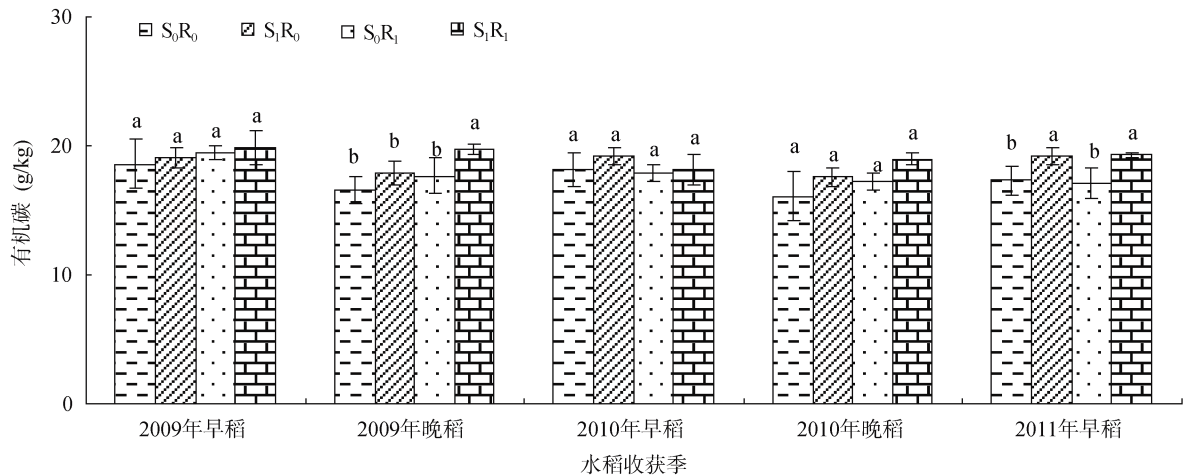
1.4 统计分析

采用 SPSS 16.0 软件对数据进行分析；文章所有图表均采用 Excel 2003 软件进行绘制。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田和休耕对土壤有机碳的影响

由图 1 可知，经过连续 3 年的休耕，S₀R₀ 处理的土壤有机碳含量并未发生明显变化，添加秸秆的处理 S₁R₀ 则有高于 S₀R₀ 的趋势，在 2011 年早稻收获时比后者高出 11.3%，达到显著水平($P<0.05$)。不添加秸秆连续种植水稻的处理 S₀R₁ 土壤有机碳含量也无显著变化，而 S₁R₁ 处理的有机碳含量逐渐高于 S₀R₁ 处理，2011 年早稻收获时比后者高 13.6%，达到显著水平($P<0.05$)。



(图中同一水稻收获季数据字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平，下同)

图 1 秸秆还田和休耕对土壤有机碳含量的影响

Fig. 1 Effects of rice straw incorporation and fallow on organic carbon content of soil

2.2 秸秆还田和休耕对土壤全量养分的影响

从图 2 可以看出，经过 3 年的休耕，S₀R₀ 和 S₁R₀ 处理的全氮含量没有显著变化。而连续种植水稻的处理 S₀R₁ 和 S₁R₁ 全氮含量有了不同程度的下降，2011 年早稻收获时分别比基土减少 18.3% 和 17.7%。双因素方差分析结果显示，2011 年早稻收获时休耕处理土壤全氮含量显著高于连续种植水稻的处理($P<0.05$)。

同全氮变化趋势一致(图 2)，S₀R₀ 和 S₁R₀ 处理的全磷含量没有显著变化，而连续种植水稻的处理 S₀R₁

和 S₁R₁ 全磷含量有了不同程度的下降，2011 年早稻收获时均比基土降低了 13.3%。2011 年早稻收获时休耕处理 S₀R₀ 和 S₁R₀ 土壤全磷含量分别比 S₀R₁ 和 S₁R₁ 高出 14.6% 和 12.8%，达到显著水平($P<0.01$)，而添加秸秆并未影响全磷含量。

从 2009 年早稻收获到 2011 年早稻收获各处理土壤全钾含量没有明显变化(图 2)。2011 年早稻收获时 S₀R₁ 处理全钾含量为 29.53 g/kg，显著低于其他 3 个处理($P<0.01$)。

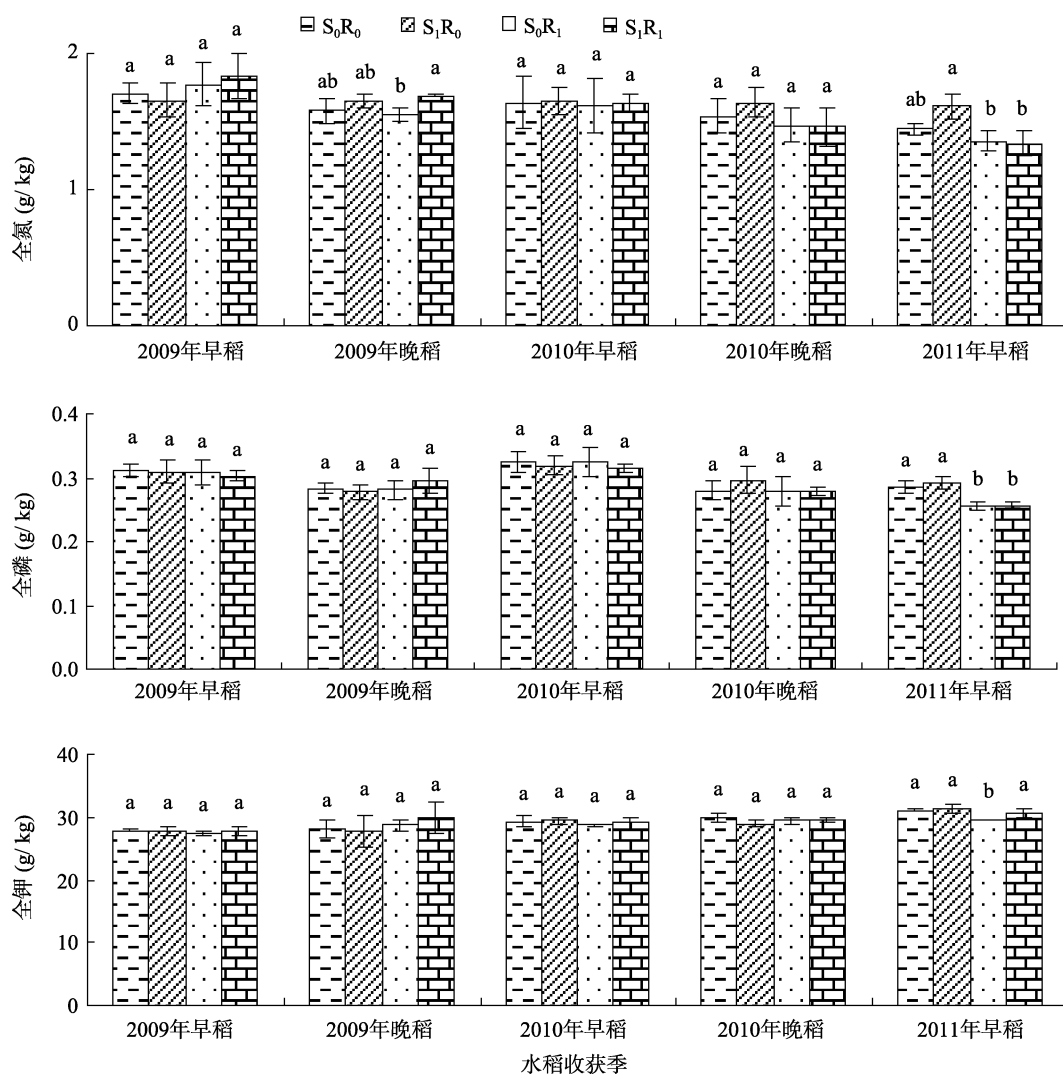


图 2 秸秆还田和休耕对土壤全量养分的影响

Fig. 2 Effects of rice straw incorporation and fallow on total nutrient contents of soil

2.3 秸秆还田和休耕对土壤速效养分的影响

从图 3 可以看出,在 2009 年添加秸秆并未影响土壤碱解氮含量,从 2010 年早稻收获开始添加秸秆的效应开始显现。2010 年晚稻收获时, S_1R_0 处理碱解氮含量高于 S_0R_0 处理($P<0.05$);2011 年早稻收获时, S_1R_0 处理碱解氮含量高于 S_0R_0 和 S_0R_1 处理($P<0.05$)。2009 年早稻收获时休耕处理碱解氮含量高于连续种水稻的处理($P<0.05$),但随后的 4 个水稻季内两者差异并不显著。休耕提高了土壤速效磷的含量,而添加秸秆并不能增加土壤速效磷含量。与 2009 年早稻收获时相比,2011 年早稻收获时 S_0R_0 和 S_1R_0 处理土壤速效磷含量分别提高了 55.5% 和 29.3%。连续种植水稻的处理速效磷含量变化不明显。这可能是由于休耕处理避免了连续翻耕导致的速效磷流失,从而引起速效磷的积累。

对各处理土壤速效钾含量分析可知,休耕处理土壤中速效钾含量一直维持在较高水平,而连续种植水

稻的处理速效钾含量逐年下降。试验期间 5 次水稻收获时测定的 S_0R_1 和 S_1R_1 处理土壤速效钾含量均显著低于 S_0R_0 和 S_1R_0 处理($P<0.05$),到 2011 年早稻收获时分别低 59.3% 和 43.2%。不管是休耕处理还是连续种植水稻的处理,添加秸秆明显增加了土壤速效钾含量。从 2009 年早稻收获至 2011 年早稻收获 S_1R_0 处理土壤速效钾含量分别比 S_0R_0 处理高 41.6%、4.2%、16.0%、16.3% 和 22%, S_1R_1 处理分别比 S_0R_1 处理高 60.3%、25.0%、46.2%、31.1% 和 70.3%。

3 讨论与结论

水稻秸秆富含纤维素、半纤维素、木质素、蛋白质等有机物质以及氮、磷、钾、钙、镁、硫、硅等多种营养元素。水稻秸秆还田腐解后形成土壤有机碳,促进养分循环利用,改善土壤理化性质,提高土壤肥力,而且降低了农业成本。秸秆作为新鲜有机物,长期秸秆还田后能影响土壤有机质周转,改变土壤有机质的组成

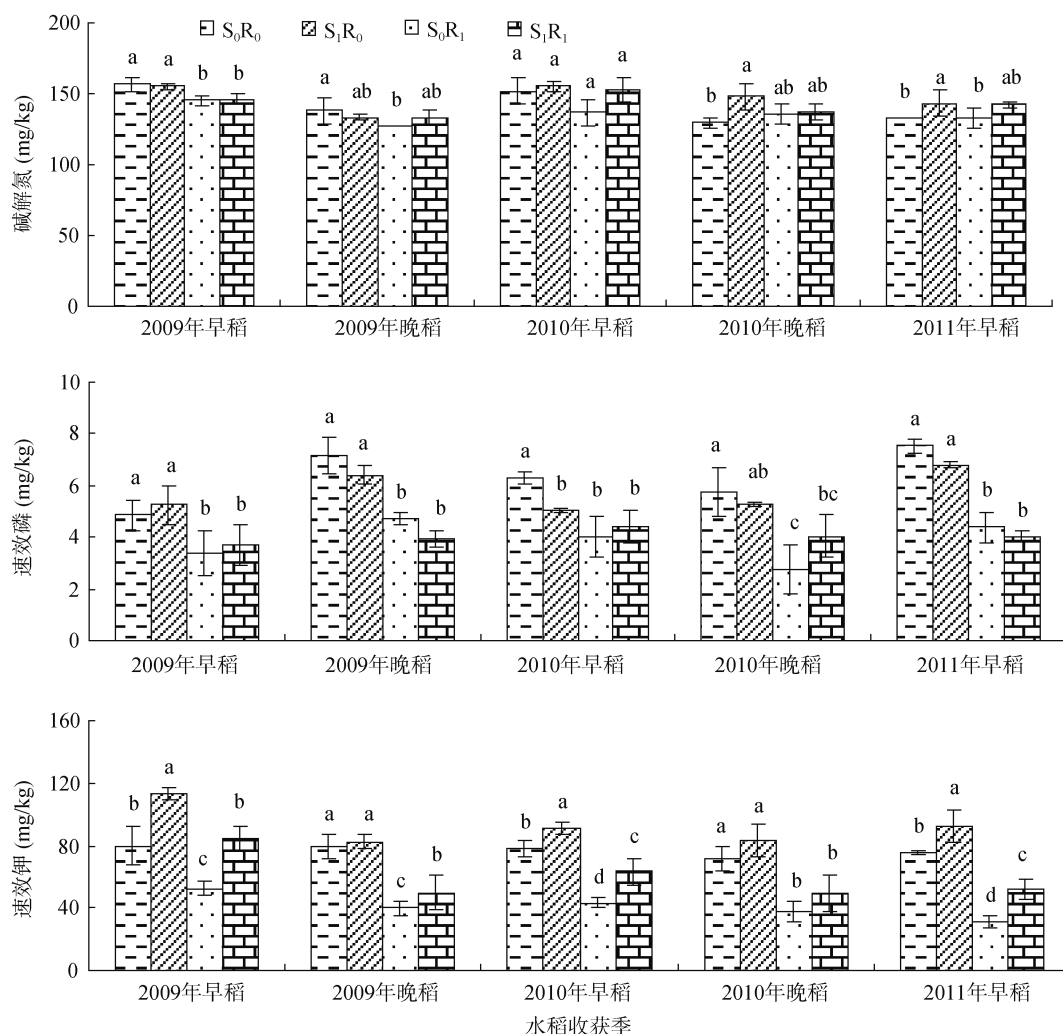


图 3 秸秆还田和休耕对土壤速效养分含量的影响

Fig. 3 Effects of rice straw incorporation and fallow on available nutrient contents of soil

和结构特点,并可以明显提高有机质含量^[18-20]。

本试验中经过连续 3 年的休耕,不添加秸秆的处理(S₀R₀)土壤有机碳含量并未发生明显变化,而添加秸秆的处理 S₁R₀ 则有高于 S₀R₀ 的趋势,并在 2011 年早稻收获时达到显著水平。不添加秸秆连续种植水稻的处理(S₀R₁)土壤有机碳含量也无显著变化,而添加秸秆并连续种水稻的处理(S₁R₁)的有机碳含量逐渐高于 S₀R₁,2011 年早稻收获时达到显著水平。

迄今为止,秸秆还田对土壤养分的正面影响也已经被许多研究所证实。陈尚洪等^[21]认为秸秆还田促进土壤水稳性团粒的形成和土壤结构的改善,经腐解后给土壤提供了大量的氮、磷、钾。詹其厚等^[22]和王光华等^[23]的研究也发现土壤中的全磷、无机磷含量明显提高,并促进有机磷的矿化,使氮、磷、钾肥肥效得以提高。余延丰等^[24]的试验也证实了秸秆还田能提高土壤有机质含量,并能改善土壤的速效钾和速效磷的供应能力。本

试验中添加秸秆对全量养分的影响并不显著,但显著增加了土壤碱解氮和速效钾含量。

高亚军等^[25]报道,与“掠夺式”的种植制度相比,长期休闲对维持或扩大土壤氮库,尤其是增加土壤供氮能力有非常重要的作用。休闲和耕种对土壤速效钾库的影响显著大于对缓效钾库的影响,15 cm 以上土层休闲土壤缓效钾含量高于耕种土壤,休闲土壤速效钾含量在 30 cm 耕层的表现均高于耕种土壤,休闲和作物秸秆还田均有利于土壤保持较高的钾水平。本研究发现经过 3 年的休耕, S₀R₀ 和 S₁R₀ 处理的全氮和全磷含量没有显著变化。而连续种植水稻的处理 S₀R₁ 和 S₁R₁ 全氮和全磷含量有了不同程度的下降。双因素方差分析结果显示,2011 年早稻收获时休耕处理土壤全氮和全磷含量显著高于连续种植水稻的处理。2009 年早稻收获时休耕处理碱解氮含量高于连续种水稻的处理,但随后的 4 个水稻季内两者差异

并不显著。休耕提高了土壤速效磷的含量,与 2009 年早稻收获时相比,2011 年早稻收获时 S_0R_0 和 S_1R_0 处理土壤速效磷含量分别提高了 55.5% 和 29.3%, 休耕处理土壤中速效钾含量一直维持在较高水平,而连续种植水稻的处理速效钾含量逐年下降。试验期间 5 次水稻收获时测定的 S_0R_1 和 S_1R_1 处理土壤速效钾含量均显著低于 S_0R_0 和 S_1R_0 处理。Bandyopadhyay 等^[26]认为长期休耕是提升土壤肥力最好的方式,土壤管理应同时考虑无机肥料和有机物料的平衡以提高土壤质量。

本试验研究结果显示,休耕能够很好地维持或提高土壤养分含量,添加秸秆显著增加土壤碱解氮和速效钾的含量。所以对土壤肥力明显下降的中低产田进行统筹安排,结合农村种植结构调整,逐步推广 2~3 年的休耕轮作的同时施入水稻秸秆,来改善土壤结构、提升地力,是一种值得推荐的稻田土壤管理措施。

参考文献:

- [1] 高利伟, 马林, 张卫峰, 王方浩, 马文奇, 张福锁. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-179
- [2] 焦桂枝, 马照民. 农作物秸秆的综合利用[J]. 中国资源综合利用, 2003(1): 19-21
- [3] 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农业生态系统和作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213
- [4] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 胡金有. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87-91
- [5] Kumar K, Goh KM. Crop residues and management practices: Effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery[J]. *Advances in Agronomy*, 2000, 68: 197-319
- [6] 王洪英, 王艳丽. 水稻秸秆还田技术[J]. 吉林农业, 2004, 168: 22-23
- [7] 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[J]. 土壤, 2007, 39(5): 782-786
- [8] Rautaray SK, Ghosh BC, Mittra BN. Effect of fly ash, organic wastes and chemical fertilizers on yield, nutrient uptake, heavy metal content and residual fertility in a rice-mustard cropping sequence under acid lateritic soils[J]. *Bioresource Technology*, 2003, 90: 275-283
- [9] Rahmana MA, Chikushia J, Saifizzamanb M, Lauren JG. Rice straw mulching and nitrogen response of no-till wheat following rice in Bangladesh[J]. *Field Crops Research*, 2005, 91: 71-81
- [10] 闫德智, 王德建. 长期施用化肥和秸秆对水稻土碳氮矿化的影响[J]. 土壤, 2011, 43(4): 529-533
- [11] Vlek PLG, Byrnes BH. The efficacy and loss of fertilizer N in lowland rice[J]. *Fertilizer Research*, 1986, 9(1/2): 131-147
- [12] Dawe D, Dobermann A, Moya P, Abulrachman S, Singh B, Lal P, Li SY, Lin B, Panuallah GM, Sariam O, Singh Y, Swarup A, Tan PS, Zhen QX. How widespread are yield declines in long-term rice experiments in Asia[J]? *Field Crop Res.*, 2000, 66: 175-193
- [13] 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[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, 66: 857-867
- [14] Singh Y, Singh B, Ladha JK, Khind CS, Gupta RK, Meelu OP, Pasuquin E. Long-term effects of organic inputs on yield and soil fertility in the rice-wheat rotation[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2004, 68: 845-853
- [15] 揣小伟, 黄贤金, 钟太洋. 休耕模式下我国耕地保有量初探[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2008, 23(3): 99-102
- [16] 牛纪华, 李松梧. 农田休耕的必要性及实施构想[J]. 农业环境与发展, 2009(2): 27-28
- [17] 崔和瑞, 孟祥书. 基于休耕轮作的人与自然和谐的农村生态环境的构建[J]. 中国农学通报, 2006, 12(22): 502-504
- [18] 石勇, 石伟, 赵冬娟. 秸秆还田培肥地力[J]. 吉林农业, 2008(12): 22-24
- [19] Iqbal J, Hu RG. CO₂ emission in a subtropical red paddy soil (Ultisol) as affected by straw and N-fertilizer applications: A case study in Southern China[J]. *Geoderma*, 2009, doi:10.1016/j.agee.2009.02.001
- [20] Pan GX, Zhao QG. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: Facing the challenge of global change and food security[J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(4): 384-393
- [21] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴婕. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 141-144
- [22] 詹其厚, 张效朴, 袁朝良. 秸秆还田改良砂姜黑土的效果及其机理研究[J]. 安徽农业大学学报, 2002, 29(1): 53-59
- [23] 王光华, 齐晓宁, 金剑, 刘俊杰, 王洋. 施肥对黑土农田土壤全碳、微生物量碳及土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 661-666
- [24] 余延丰, 熊桂云, 张继铭, 万炎生, 苏运河, 彭红, 孙爱红. 秸秆还田对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 湖北农业科学, 2008, 47(2): 169-171
- [25] 高亚军, 朱培立, 黄东迈, 王志明, 李生秀. 水旱轮作地区土壤长期休闲与耕地的肥力效应[J]. 中国生态农业学报, 2001(9): 67-69
- [26] Bandyopadhyay PK, Saha S, Mallick S. Comparison of soil physical properties between a permanent fallow and a long-term rice-wheat cropping with inorganic and organic inputs in the humid subtropics of Eastern India[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2011, 42: 435-449

Effects of Rice Straw Incorporation and Permanent Fallow on Soil Nutrient of Paddy Field in Northeastern Jiangxi Province

PANG Cheng-qing^{1,2}, QIN Jiang-tao^{2*}, LI Hui-xin^{1*}, LIU Jin-hua²

(1 College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: This paper studied the effects of rice straw incorporation and permanent fallow on soil nutrient. The results showed that the content of soil organic carbon was significantly higher at the treatment of straw incorporation than that at the treatment of no straw applied during the harvesting time in 2011. Straw incorporation had no significant effect on total N, total P and total K while significantly increased the contents of alkali-hydrolyzable nitrogen and available potassium. Total N and total P were significant higher at the treatment of permanent fallow than those at the planting rice field in 2011. The increased proportions of soil rapidly available phosphorus in the treatments of S₀R₀ (55.5%) and S₁R₀ (29.3%) during the harvesting time of early rice in 2011 comparing to that in 2009 indicated that the permanent fallow significantly increased the content of soil rapidly available phosphorus. The soil available potassium kept the relatively higher state at the treatment of permanent fallow during the observed time, which decreased at the treatment of planting rice.

Key words: Straw incorporation, Fallow, Soil nutrient, Paddy field