

不同秸秆还田方式对红壤性质及花生生长的影响^①

唐晓雪^{1,2}, 刘明¹, 江春玉¹, 吴萌¹, 李忠佩^{1*}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 通过田间小区试验研究化肥配合不同秸秆还田方式对红壤养分、生物学特性和作物生长的影响。结果表明, 与其他(NPK、NPKD1、NPKD2)处理相比, 氮磷钾化肥配合秸秆直接还田(NPKJG)处理土壤碱解氮降低了 7.88%~31.37%, 速效磷降低了 7.72%~23.81%。各处理土壤脲酶活性在花生的生长期先降低后升高, 而转化酶活性先升高后降低(除 NPK 处理的转化酶活性持续降低外)。氮磷钾化肥配合 FeSO₄ 促腐秸秆堆肥还田处理(NPKD2)提高了土壤脲酶活性 26.14%, 而配合碱渣促腐秸秆堆肥处理(NPKD1)提高了土壤转化酶活性 66.13%。氮磷钾化肥配合 FeSO₄ 促腐秸秆堆肥处理土壤微生物量碳含量较高, 且提高了花生各农艺性状指标和产量。

关键词: 秸秆还田; 化学促腐秸秆堆肥; 土壤酶; 微生物生物量; 花生生长

中图分类号: S156.6

我国东南丘陵区的土壤肥力大多处于中下水平, 旱地、林地的贫瘠化程度更为严重。近年来, 为解决粮食问题, 提高土壤肥力, 增加粮食单产是迫切需求。施用化肥可以提高土壤肥力, 改善土壤性状, 从而提高作物产量和质量, 但是作物对化肥的平均利用率一般较稳定^[1], 因此化肥施用量越高, 流失到环境中的可能性越大, 对生态环境造成危害的风险越高。近年来, 人们通过大量施用化肥手段来提高粮食单产, 但同时也加速了土壤质量的退化, 如引起土壤板结、酸化和硝酸盐积累等问题^[2]。

农作物秸秆作为农业生产的副产品, 含有大量的营养元素, 包括氮、磷、钾以及其他植物生长所需的微量营养元素^[3]。一般认为, 秸秆还田会增加作物产量, 改善土壤肥力^[4-7]。秸秆施入酸性以及中酸性土壤中能够增加表层及亚表层土壤的 pH, 使土壤趋于中性^[8-9]。此外, 农作物秸秆施入土壤中还可以影响土壤微生物量和活性^[10], 如增加微生物生物量^[11], 提高土壤酶活性。徐阳春等^[10]研究表明, 单施化肥会引起其土壤微生物量碳减少, 而秸秆与化肥配施增加土壤微生物量碳、氮。张电学等^[12]研究报道, 化肥与秸秆配施能增加土壤总体酶活性, 并且配施促腐剂表现出高于未配施的趋势。但是也有长期定位施肥试验表明秸秆直接还田对脲酶活性没有明显影

响^[13-14], 并且秸秆直接还田还会带来诸多问题, 如降低氮素的利用率, 影响作物生长^[15], 或者带入病虫害^[16]。而此前室内培育试验结果还表明, 秸秆经过化学强化腐解后应用于旱地红壤能够缓解土壤酸化、提高土壤肥力和改善土壤生物学特性^[17], 但其田间应用效果尚待验证。针对以上问题和现状, 本试验通过设置化肥配合不同的秸秆还田方式的田间小区试验, 研究秸秆直接还田, 或者化学强化腐解还田后, 土壤理化性质的变化, 分析土壤微生物生物量以及酶活性的改变, 并且观测秸秆不同还田方式对花生生长的影响, 以期对红壤地区土壤肥力改善和农作物秸秆合理配置利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验地点位于江西省余江县刘垦三分场, 地理位置 116°41'~117°09'E, 28°04'~28°37'N, 属于亚热带季风气候区, 年均温 17.6℃, 年均降雨量 1 766 mm, 无霜期 262 天。供试土壤为第四季红黏土母质发育的旱地红壤。供试花生品种为当地常规品种赣花 1 号。供试秸秆为水稻秸秆, 含有碳 394.06 g/kg, 氮 11.01 g/kg, 磷 1.72 g/kg, 钾 13.1 g/kg。通过添加碱渣和 FeSO₄ 等化学促腐剂, 对水稻秸秆进

基金项目: 973 计划项目(2014CB441003-2)和国家科技支撑计划项目(2012BAD05B04)资助。

* 通讯作者(zhpli@issas.ac.cn)

作者简介: 唐晓雪(1989—), 女, 黑龙江大连池人, 硕士研究生, 主要研究方向为农业生物质转化技术。E-mail: xxtang@issas.ac.cn

行强化腐解,制备秸秆堆肥。制作方法为水稻秸秆加入豫园菌剂(湖南豫园生物科技有限公司)、碱渣(中国石化集团南京化学工业公司连云港碱厂)或者 FeSO_4 (化学纯),65%含水量,室温堆制30天。堆制结束后,碱渣促腐堆肥含水量704 g/kg,有机碳含量406.52 g/kg,全氮15.64 g/kg,速效氮1.01 g/kg,速效磷0.30 g/kg,速效钾3.50 g/kg; FeSO_4 促腐堆肥的含水量701 g/kg,有机碳含量393.50 g/kg,全氮19.31 g/kg,速效氮1.10 g/kg,速效磷0.32 g/kg,速效钾2.50 g/kg。

1.2 试验设计

布置田间小区试验进行研究,试验设置3个区组,组内随机排列,每个小区面积为 36 m^2 。各区组设4个施肥处理:氮磷钾化肥(NPK):当地习惯施尿素 $300\text{ kg}/\text{hm}^2$,钙镁磷肥 $600\text{ kg}/\text{hm}^2$,氯化钾 $300\text{ kg}/\text{hm}^2$;氮磷钾化肥配合常规秸秆还田(NPKJG):秸秆还田量为 $4\ 500\text{ kg}/\text{hm}^2$;氮磷钾化肥配合碱渣促腐秸秆堆肥还田(NPKD1):堆肥秸秆用量相当于 $4\ 500\text{ kg}/\text{hm}^2$;氮磷钾化肥配合 FeSO_4 促腐秸秆堆肥还田(NPKD2):堆肥秸秆用量同上。

1.3 样品采集与分析方法

小区试验于2013年4月至8月进行。4月上旬播种花生,8月上旬收获。于花生的生育期各阶段,例如初花期、花针期和收获期5点法采集表层0~20 cm土壤样品,测定土壤酶活性;于花生收获期采集土壤样品分析其基本理化性质和微生物生物量,采集植株样品分析其农艺性状。

土壤碱解氮采用扩散吸收法测定;速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法(GB 12297-1990)测定;速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法(GB 7856-1987)测定;脲酶采用靛酚蓝比色法测定;转化酶采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定;土壤微生物生物量碳采用氯仿熏蒸-硫酸钾浸提,TOC仪测定,利用熏蒸和未熏蒸土壤提取的有机碳含量之差,乘以系数2.46,求得土壤微生物生物量碳。花生农艺性状指标测定:于花生收获期,在各小区内取代表性植株5穴,测定每株果数,每株粒数,以及百粒重等,并计算理论产量。

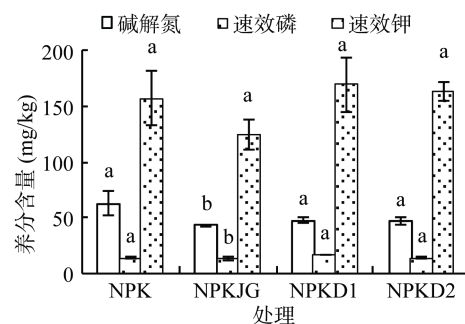
1.4 数据分析方法

试验所获得的数据采用SPSS 20.0进行分析法。单因素方差分析法(one-way ANOVA)分析各处理间差异,差异显著性采用Least-Significant Difference(LSD)法进行比较。采用Microsoft Excel 2010进行绘图。

2 结果与分析

2.1 化肥配合不同方式秸秆还田对土壤养分的影响

各处理速效养分含量如图1,化肥配合不同秸秆堆肥处理(NPKD1、NPKD2)下,土壤速效氮、速效磷和速效钾含量与单施化肥处理(NPK)比较没有明显差异。而化肥配合秸秆直接还田处理(NPKJG)下,土壤碱解氮和速效磷含量显著低于其他处理($P<0.05$),NPKJG处理碱解氮含量较NPKD1处理减少10.25%,较NPKD2处理减少7.88%,较NPK处理减少31.37%;速效磷较NPKD1处理减少23.81%,较NPKD2处理减少8.91%,较NPK处理减少7.72%。虽然各处理间的速效钾含量差异不显著($P>0.05$),但是总体趋势上,NPKJG处理的速效钾含量也最低。秸秆直接还田,微生物进行分解的同时,要同化利用土壤氮素,因此造成碱解氮含量的下降。而碱渣和 FeSO_4 促腐秸秆堆肥,由于化学添加物碱渣和 FeSO_4 对秸秆腐解产物的养分具有固持作用^[18],因此含有较多的速效养分,施入土壤后,补充了由于微生物同化利用造成的氮素的消耗。由于秸秆经过化学促腐后品质较高,施入土壤通过络合作用释放出较多的磷素,同时腐解产物本身含有较多的钾素^[17],因此与NPK和NPKJG处理相比较,NPKD1、NPKD2处理提高了土壤速效磷和速效钾含量。



(图中不同小写字母表示同一养分各处理间差异在 $P<0.05$ 水平显著,下同)

图 1 化肥配合不同方式秸秆还田对土壤养分的影响

Fig. 1 Effects of chemical fertilizers combined different types of straw amendments on soil nutrient contents

2.2 化肥配合不同方式秸秆还田对土壤酶活性的影响

图2为试验期间各处理脲酶及转化酶活性的变化。花生生育期内,各处理脲酶活性均表现先降低后升高的趋势。收获期,NPKJG处理脲酶活性最小,较其他处理降低18.18%~45.45%。NPKD2及NPK处理对脲酶活性提高效果显著,达到 $0.16\text{ mg}/(\text{g}\cdot 24\text{h})$ 。有研究表明,过量矿物质氮对脲酶活性有抑制作用^[19],据此推测,在花生生长前期,由于尿素或者秸秆堆肥

带入的大量的矿质氮,脲酶活性较低,而花生生长后期,由于作物的吸收利用,速效氮含量降低,减缓了抑制作用,同时脲酶分解物料或者土壤中有有机氮活性增强。因此,本研究中不同处理之间的脲酶活性的差异可能是矿质氮抑制、腐解物自身带入酶以及作物生长养分吸收等多种因素综合作用的结果。

NPKJG、NPKD1 和 NPKD2 处理的转化酶活性在花生整个生长时期先升高后降低,而 NPK 处理的转化酶活性持续降低。李春霞等^[20]对玉米生育期内转化酶的研究也有相似的结果。虽然处理间差异不显著,但是收获期 NPKD1 处理转化酶活性最高,较其

他处理提高 50.75%~66.33%。由于秸秆直接还田或者秸秆促腐后还田,带入大量的有机碳,因此造成花生生长前期转化酶活性的升高,随着有机碳的分解,后期转化酶活性降低。而 NPK 处理没有额外的有机物输入,因此转化酶活性持续降低。添加碱渣的秸秆腐解产物有机碳含量略高于供试秸秆以及添加 FeSO₄ 的秸秆腐解物,因而导致 NPKD1 处理的转化酶活性略高于其他处理。此外,秸秆化学促腐后,含有腐殖酸较多,对土壤酶具有保护作用^[17],也部分解释了收获期化肥配合秸秆堆肥处理转化酶活性较高的原因。

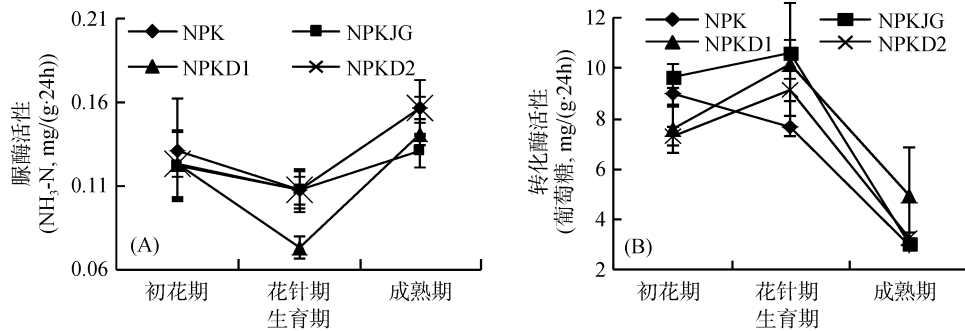


图 2 化肥配合不同方式秸秆还田对土壤脲酶和转化酶活性的影响

Fig. 2 Effects of chemical fertilizers combined different types of straw amendments on soil urease and invertase activities

2.3 化肥配合不同方式秸秆还田对土壤微生物生物量碳的影响

图 3 为不同施肥方式处理下,花生收获期土壤微生物生物量碳的变化。各处理间土壤微生物生物量碳含量大小关系为 NPKD2>NPKJG>NPKD1>NPK。此前有研究表明,土壤微生物生物量碳含量与作物生长密切相关,作物生长增加了根系分泌物,从而促进了微生物的生长^[21]。图 3 和表 1 的结果表明,不同秸秆还田方式处理下,微生物生物量碳的变化可能与花生生长有关。此外也有研究认为,单施化肥可能导致

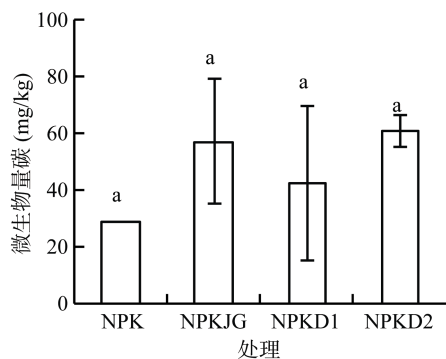


图 3 化肥配合不同方式秸秆还田对土壤微生物生物量碳的影响

Fig. 3 Effects of chemical fertilizers combined different types of straw amendments on soil microbial biomass carbon

土壤团聚体被破坏,改变微生物的生存环境,而施用有机物料可改善土壤理化性状,进而增加微生物含量^[10]。这部分解释了本研究中单施化肥处理,虽然花生产量较高,但是微生物生物量碳反而较低的原因。

2.4 化肥配合不同方式秸秆还田对花生生长的影响

花生产量与花生主要农艺性状间存在紧密关系^[22]。表 1 为不同施肥处理下花生的生长状况、产量及其构成因素结果。从表中可以看出,NPKD2 处理的产量明显优于其他秸秆还田方式处理($P<0.05$),较 NPKJG 处理增加 46.3%,较 NPKD1 处理增加 59.4%。与其他处理相比较,NPKD2 和 NPK 处理的脲酶活性也一直维持较高水平。脲酶活性反映了土壤有机氮向有效氮转化的能力以及土壤无机氮的供应能力^[13, 23],因此推测,本研究中 NPKD2 和 NPK 处理保证了花生生育期内有效氮的供应,促进花生生长和产量提高。虽然 NPKD1 和 NPKD2 处理秸秆腐解产物的基本养分含量和腐熟程度差异不大,但是施入土壤后,在花生生长的花针期和成熟期,NPKD2 处理的脲酶活性明显高于 NPKD1 处理,因此二者产量的差异可能也归因于土壤脲酶活性及有效氮供应水平的不同。各处理下反映植株生长状况的各农艺指标没有显著差异($P>0.05$)。另外,研究结果还表明,除植株株高和单

表 1 化肥配合不同方式秸秆还田对花生产量及其构成的影响

Table 1 Effects of chemical fertilizers combined different types of straw amendments on peanut yield and its composition

处理	株高 (cm)	植株干重 (g/株)	果干重 (g/株)	单株果数	单株粒数	粒重 (g/株)	百粒重 (g)	实果率 (%)	理论产量 (kg/hm ²)
NPK	43.89 a	29.77 a	21.45 a	24.44 a	24.22 a	9.37 a	38.80 a	68.65 a	6 435.60 ab
NPKJG	39.56 a	23.20 a	17.06 a	19.89 a	13.33 a	7.15 a	53.57 a	67.87 a	5 118.30 b
NPKD1	38.67 a	19.91 a	28.02 a	27.22 a	27.62 a	14.31 a	45.49 a	62.94 a	4 699.05 b
NPKD2	40.83 a	17.48 a	25.00 a	29.56 a	26.33 a	10.75 a	41.67 a	72.65 a	7 499.40 a

株干重以及实果率外，NPKD1、NPKD2 处理其余各生长指标均较 NPK 和 NPKJG 处理效果好。

3 结论

化肥配合秸秆直接还田不利于土壤速效养分积累，特别是速效氮含量降低了 7.88%~31.37%，速效磷含量降低了 7.72%~23.81%，并且尿酶及转化酶的活性均低于其他处理。而化肥配合化学促腐的秸秆堆肥还田，提高了土壤速效钾含量，增加了土壤酶活性，并且化肥配合 FeSO₄ 促腐的秸秆堆肥提高了土壤微生物生物量碳和花生产量。

参考文献：

- [1] 屈宝香. 农业中的化肥使用与环境影响[J]. 环境保护, 1994(8): 41-44
- [2] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 张桃林, 赵其国. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 656-660
- [3] Yan DZ, Wang DJ, Yang LZ. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on labile organic matter fractions in a paddy soil[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 44(1): 93-101
- [4] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴婕, 刘定辉, 王昌全. 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
- [5] 路文涛, 贾志宽, 张鹏, 王维, 候贤清, 杨保平, 李永平. 秸秆还田对宁南旱作农田土壤活性有机碳及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(3): 522-528
- [6] 韩新忠, 朱利群, 杨敏芳, 俞琦, 卞新民. 不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(11): 2 192-2 199
- [7] 姜灿烂, 何园球, 李辉信, 李成亮, 刘晓利, 陈平帮, 王艳玲. 长期施用无机肥对红壤旱地养分和结构及花生产量的影响[J]. 土壤学报, 2009, 46(6): 1 102-1 109
- [8] Butterly CR, Baldock JA, Tang C. The contribution of crop residues to changes in soil pH under field conditions[J]. *Plant and soil*, 2013, 366(1/2): 185-198
- [9] Butterly C, Bhatta Kaudal B, Baldock J, et al. Contribution of soluble and insoluble fractions of agricultural residues to short-term pH changes[J]. *European Journal of Soil Science*, 2011, 62(5): 718-727
- [10] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 83-90
- [11] 张成娥, 王栓全. 作物秸秆腐解过程中土壤微生物量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 96-99
- [12] 张电学, 韩志卿, 刘微, 高书国, 常连生, 侯东军, 李国航. 不同促腐条件下秸秆直接还田对土壤酶活性动态变化的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 475-478
- [13] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 徐晶, 张夫道. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 406-410
- [14] 袁玲, 杨邦俊, 郑兰君, 刘学成. 长期施肥对土壤酶活性和氮磷养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(4): 300-306
- [15] 程励励, 文启孝, 李洪. 稻草还田对土壤氮素和水稻产量的影响[J]. 土壤, 1992, 24(5): 234-238, 243
- [16] 张瑛. 浅谈秸秆直埋还田[J]. 农业机械, 1997(2): 26
- [17] 翟修彩, 刘明, 李忠佩, 徐阳春. 不同添加剂处理秸秆腐解物对红壤性质的影响[J]. 土壤, 2013, 45(5): 868-874
- [18] 翟修彩, 刘明, 李忠佩, 徐阳春. 不同添加剂处理对水稻秸秆腐解效果的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(12): 2 412-2 419
- [19] Mayes M, Jagadamma S, Ambaye H, Petridis L, Lauter V. Neutron reflectometry reveals the internal structure of organic compounds deposited on aluminum oxide[J]. *Geoderma*, 2013, 192: 182-188
- [20] 李春霞, 陈卓, 王俊忠, 李友军, 付国占, 陈明灿. 秸秆还田与耕作方式对土壤酶活性动态变化的影响[J]. 河南农业科学, 2006, 34(11): 68-70
- [21] Kanchikerimath M, Singh D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2001, 86(2): 155-162
- [22] 李清华, 黄金堂, 陈海玲, 李淑萍, 谢志琼. 花生主要农艺性状协调关系的研究[J]. 花生学报, 2008, 37(4): 40-44
- [23] 王灿, 王德建, 孙瑞娟, 林静慧. 长期不同施肥方式下土壤酶活性与肥力因素的相关性[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 688-692

Effects of Different Ways of Straw Returning on Red Soil Properties and Peanut Growth

TANG Xiao-xue^{1,2}, LIU Ming¹, JIANG Chun-yu¹, WU Meng¹, LI Zhong-pei^{1*}

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)*, Nanjing 210008, China; 2 *University of Chinese Academy of Sciences*, Beijing 100049, China)

Abstract: Field trial was carried out to study the effects of NPK fertilizers combined different types of straw amendments on soil nutrients, microbial properties and crop growth. It indicated that compared with the other treatment(NPK、NPKD1、NPKD2), the treatment of NPK combined straw directly returning decreased soil available nitrogen and phosphorus by 7.88%–31.37% and 7.72%–23.82%. The urease activities declined first and increased later with the growth of peanut in all treatments, but opposite trends showed in invertase activities except the NPK treatment. The treatment of NPK combined FeSO₄ promoted straw compost increased the urease activity by 26.14%, and the treatment of NPK combined alkali slag promoted straw compost enhanced the invertase activity by 66.13%. Microbial biomass carbon in the treatment of NPK combined FeSO₄ promoted straw compost was higher than those in other treatments. Meanwhile, the treatment of NPK combined FeSO₄ promoted straw compost also improved peanut growth and peanut yield.

Key words: Straw amendments; Chemical promoted straw compost; Soil enzyme; Soil microbial biomass; Peanut growth