

不同添加剂处理秸秆腐解物对红壤性质的影响^①

翟修彩^{1,2}, 刘 明¹, 李忠佩^{1,3*}, 徐阳春²

(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 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 3 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 有机废弃物的资源化高效利用是目前生产实际中面临的紧迫问题。本文通过布置土壤培育试验, 施用不同添加剂处理后的水稻秸秆腐解物, 研究土壤养分和生物性状变化。结果显示, 施用添加剂处理的水稻秸秆腐解物对红壤理化指标和生物学性质有明显影响。施用碱渣处理的秸秆腐解物能够提高土壤 pH, 缓解红壤酸化; 施用秸秆腐解物对红壤碱解氮含量影响不明显, 但可提高速效磷、速效钾含量, 尤其施用 FeSO_4 处理的秸秆腐解物效果较为显著; 培养 60 天时施用添加剂处理秸秆腐解物的红壤脲酶、转化酶活性达到高峰, 并且均表现为添加剂处理秸秆腐解物>无添加剂处理秸秆腐解物>对照, 其中施用碱渣处理的秸秆腐解物的土壤酶活性较高; 施用秸秆腐解物后红壤微生物生物量碳、微生物生物量氮含量呈现先减少后增加的动态变化, 培养结束时微生物生物量碳最高的为碱渣处理, 较施用无添加剂处理和对照分别提高 46.5% 和 286.2%, 而微生物生物量氮最高的则为碱渣配合 FeSO_4 处理; 与对照相比, 各处理土壤微生物对碳源的利用能力增强, 尤其是施用碱渣处理秸秆腐解物不仅能够显著提高微生物 AWCD 值, 还明显提高了红壤微生物功能多样性。以上结果表明, 施用碱渣处理的水稻秸秆腐解物对红壤肥力提升和生物功能提高具有明显效果。

关键词: 腐解添加剂; 水稻秸秆; 红壤养分; 生物学性质

中图分类号: S156.6

红壤是我国南方主要的土壤类型, 由于长期的不合理利用, 导致出现酸、板、贫、旱、黏等不良特征^[1-2], 同时红壤区还存在着随意丢弃、焚烧作物秸秆等现象, 不仅污染环境, 还造成有机资源极大浪费, 因此研究水稻秸秆腐解物对红壤肥力和质量的影响, 具有重要的经济和社会效益。国内外学者关于有机资源对土壤培肥的效果做了大量研究, 王库等人^[3]发现水稻秸秆有机肥与化肥配施可显著增加旱地红壤磷素供应和储备, 并对土壤酶和微生物产生显著影响; Pankaj 等^[4]指出长期施用有机肥会增强碱性磷酸酶活性, 使土壤 pH 趋于中性; 黄继川等^[5]报道, 秸秆堆肥与化肥配施, 显著提高了土壤多种酶活和微生物多样性, 有利于培肥改土; 但是也有研究表明, 秸秆还田不当会引发诸多问题, 如水稻秸秆直接还田会降低氮素利用率, 抑制秧苗生长^[6], 并将原作物病虫害带回土壤^[7]; 秸秆直接堆肥腐解也面临一些问题, 有研究表明堆肥过程中营养物质部分会以气态形式挥发、损失, 不但影响空气质量, 而且影响

微生物对有机物的腐解效果, 降低堆肥产物的品质^[8-9]。同时前期水稻秸秆腐解试验结果表明, 培养结束时不使用添加剂的秸秆腐解物尚未到达腐熟标准, 且腐殖化程度较差^[10]。若秸秆堆肥腐熟不好, 施入土壤后会影响土壤生物性状和作物产量^[11]。目前, 改土培肥研究主要集中于有机无机配施和秸秆直接还田等条件下的土壤性状变化, 针对添加剂堆肥的应用鲜见报道, 然而此类堆肥的品质、腐熟度以及养分均比单纯堆肥要好。另外, 此前文献报道多研究有机物料对健康土壤微生物性质的影响, 而针对连作障碍的退化土壤研究甚少^[12]。本研究以退化的旱地红壤为供试土壤, 通过施用各种添加剂处理后的水稻秸秆腐解物, 布置室内培育试验, 分析不同腐解物施入红壤后土壤理化性质的改变, 观测土壤酶活和微生物生物量指标的动态变化, 探讨添加剂秸秆腐解物对土壤微生物群落功能多样性的影响, 为促进红壤地区有机资源合理利用和改善土壤肥力提供参考。

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD05B04)和国家自然科学基金项目(40871122)资助。

* 通讯作者(zhpli@issas.ac.cn)

作者简介: 翟修彩(1987—), 女, 黑龙江佳木斯人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤生物与生物化学。E-mail: zhaixiucagx@126.com

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤采自江西省余江县刘家站(116°41' ~ 117°09'E, 28°04' ~ 28°37'N), 属亚热带季风气候区, 雨热同季, 年均气温 17.6℃, >10℃ 积温 6 500℃, 年日照时数 1 809 h, 年均降雨量 1 766 mm, 无霜期 262 天。供试土壤为典型的旱地花生连作障碍红壤, 是当地代表性的贫瘠酸性土壤, 含有碱解氮 51.00 mg/kg, 速效磷 22.81 mg/kg, 速效钾 204.2 mg/kg, pH 5.07。土壤样品风干, 磨碎过 20 目筛, 挑去肉眼可见的细根等杂质后备用。

以水稻秸秆制备腐解物, 制作方法为水稻秸秆加入 EM 菌剂和不同化学添加剂(碱渣添加剂取自中国石化集团南京化学工业公司连云港碱厂, pH 为 11.48, 含镁 79.17 g/kg, 添加碱渣一方面可以调节 pH 适应微生物生长, 加速秸秆分解, 另一方面其金属离子能够促进腐殖酸的腐殖化, 从而提高腐解物品质^[13]; FeSO₄ 添加剂为分析纯的化学试剂, 添加后可与秸秆腐解过程中产生的 NH₄⁺ 生成稳定的硫酸亚铁铵复盐, 具有较好保氮效果^[8]), 前期保持 65% 含水量, 后期补水量渐减, 于 30℃ 培养箱通气培养 54 天。当秸秆呈黑色, 腐臭渐减转为略带泥土气味即可判断腐熟, 用发芽指数法检测腐解物水浸提液已无毒性。将秸秆腐解物低温烘干后, 磨碎过 20 目筛备用。水稻秸秆腐解物的基本性质见表 1。

表 1 供试秸秆腐解物的基本性质
Table 1 Properties of tested straw decompositions

秸秆腐解物	全碳 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	pH
菌剂, N	322.4	14.96	1.75	32.17	8.60
5%碱渣+菌剂, A	334.8	12.49	1.58	32.38	8.44
3%FeSO ₄ +菌剂, F	356.7	11.10	1.46	33.90	8.50
5%碱渣+3%FeSO ₄ + 菌剂, AF	363.9	12.03	1.46	30.96	8.38

1.2 试验设计

试验设置碱渣秸秆腐解物(A)、FeSO₄ 秸秆腐解物(F)、碱渣配合 FeSO₄ 秸秆腐解物(AF)、无添加剂秸秆腐解物(N)和对照 (CK, 不施肥)等 5 个处理, 每个处理 3 次重复。秸秆腐解物的施入量参照刘明等^[14]的研究结果, 为 10 g/kg。

称取 100 g 风干土, 分别加入 1 g 上述秸秆腐解物充分混匀, 置于 250 ml 培养瓶, 蒸馏水调节含水量至 60% 田间最大饱和持水量, 于(28±1)℃条件下恒温通气培养, 培养过程中每隔 3 天补充蒸发的

水分。在培养的第 0、30、60 和 90 天取样, 新鲜土壤样品 4℃ 冰箱避光保存, 尽快测定微生物生物量和酶活。培养结束后, 取相当于 5 g 风干土的鲜土, 采用 Biolog 分析法测定微生物群落功能多样性, 另取 25 g 样品风干测定速效养分和 pH。

1.3 分析方法

土壤 pH 采用电位计法测定, 碱解氮采用扩散吸收法测定, 速效磷选用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法(GB 12297-1990)测定, 速效钾用乙酸铵浸提-火焰光度法(GB 7856-1987)测定^[15], 脲酶用靛酚蓝比色法测定, 转化酶用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[16]。土壤微生物生物量碳、微生物生物量氮的测试方法为氯仿熏蒸-硫酸钾提取法^[17], TOC 仪测定, 利用熏蒸和未熏蒸土壤提取的有机碳、全氮含量之差, 分别乘以系数 2.46(微生物生物量碳)、1.85(微生物生物量氮), 求得土壤微生物生物量碳、微生物生物量氮。

微生物群落功能多样性使用 Biolog 生态板(Eco microplate, 美国 Matrix Technologies Corporation 生产)测定, 通过测定各板孔吸光值随培养时间的变化来反映微生物群落功能的多样性。操作方法为: 称取相当于 5 g 风干土壤的鲜土加入到 50 ml 灭菌的生理盐水(0.85%)中, 室温振荡 30 min 后静置 5 min, 在超净台上吸取 1 ml 上层土壤悬浮液至 19 ml 无菌生理盐水中, 混匀, 再用八通道移液枪吸取稀释液至 96 孔生态板, 25℃ 恒温避光培养, 0、24、48、72、96、120、144 和 168 h 后在 590 nm 波长下测定吸光度值(OD), 参照 Zhong 和 Cai^[18]的方法计算微生物平均吸光值和多样性指数。

数据处理和作图采用 SPSS 13.0 和 Excel 软件进行统计分析, 各处理之间差异采用 one-way ANOVA 法进行比较。

2 结果与分析

2.1 不同秸秆腐解物处理对红壤 pH 和速效养分的影响

pH 能够表征红壤酸化程度, 而碱解氮、速效磷和速效钾则是土壤中可供植物直接吸收利用的基本元素, 研究以上指标可以反映土壤肥力状况。表 2 结果显示, 与对照相比, 不同处理的 pH 变化趋势不同, 施用碱渣(A)、碱渣配合 FeSO₄(AF)处理的秸秆腐解物提高了土壤 pH, 其他处理反之, 碱渣处理的 pH 最高, 缓解红壤酸化效果明显。在培养结束后各处理养分含量相对于原土都有所增加, 其中碱解氮差异不显著; 添加剂秸秆腐解物处理的速效磷含量较对

表 2 不同处理红壤 pH 和速效养分
Table 2 pH and available nutrients of red soil under different treatments

处理	pH	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
A	5.17 ± 0.01 a	63.47 ± 1.63 a	23.51 ± 0.12 ab	508.3 ± 4.17 a
F	4.90 ± 0.01 c	61.85 ± 6.51 a	24.13 ± 0.30 a	525.0 ± 7.22 a
AF	5.04 ± 0.01 b	63.47 ± 1.63 a	23.60 ± 0.24 ab	512.5 ± 7.22 a
N	4.90 ± 0.01 c	61.64 ± 0.81 a	21.44 ± 0.36 b	420.8 ± 4.17 b
CK	5.02 ± 0.01 b	69.44 ± 1.09 a	23.03 ± 1.52 ab	212.5 ± 0.00 c
初始值	5.07	51.00	22.81	204.1

注：初始值：供试土壤背景值；同一列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平，下表同。

照提高 2.08%~4.78%，速效钾较对照提高一倍以上，可显著增加红壤养分含量，其中 FeSO_4 处理(F)提高土壤速效磷、速效钾效果较好。一方面这与秸秆腐解物有机质品质较高，络合反应释放出更多的磷素有关；另一方面钾素含量较高的秸秆腐解物补充了土壤钾含量。

2.2 不同秸秆腐解物处理红壤酶活的变化

脲酶的动态结果(图 1a)显示，在整个培养期间，各处理均呈先升后降的变化规律，添加剂秸秆腐解物处理增幅显著，培养后较培养前(第 0 天)提高 2.84%~111.6%。培养至 30 天时处理间差异不明显；60 天时各处理活性最高，并表现为添加剂秸秆腐解

物>无添加剂秸秆腐解物>对照，其中碱渣处理(A)最大，为 0.27 mg/(g·24h)，高于对照 40.65%；90 天时处理间产生显著性差异，碱渣配合 FeSO_4 处理(AF)最大 FeSO_4 处理(F)次之，分别为 0.23 和 0.20 mg/(g·24h)。由图 1b 可知，土壤转化酶变化规律同脲酶相似，即先升高后降低，添加剂秸秆腐解物处理增幅高于其他处理，培养后较培养前提高 4.39%~105.1%。培养 30 天时处理间差异不大，而到 60 天以后表现为添加剂秸秆腐解物>无添加剂秸秆腐解物>对照，其中碱渣、 FeSO_4 处理显著大于其他处理，并在 90 天时分别高于对照 81.99% 和 77.02%，可有效提高红壤转化酶活性。

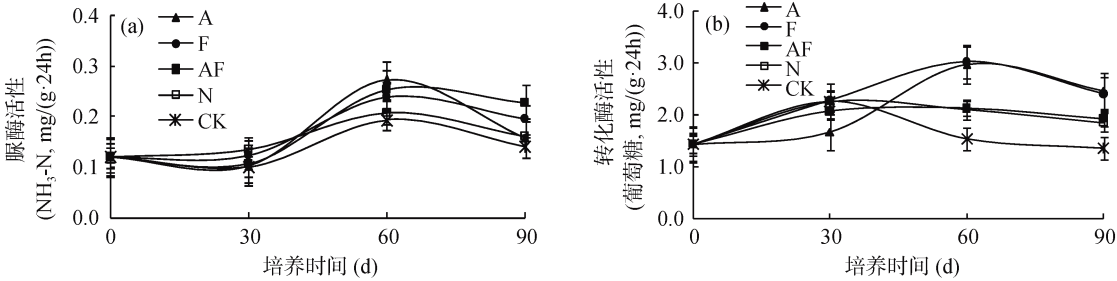


图 1 不同处理红壤脲酶 (a)、转化酶 (b) 活性变化
Fig. 1 Changes of urease activity (a) and invertase activity (b) of red soil under different treatments

2.3 不同秸秆腐解物处理红壤微生物性状的变化

2.3.1 不同秸秆腐解物处理红壤微生物生物量的变化 图 2a 为红壤微生物生物量碳(MBC)的动态变化，结果显示，除对照外，其他处理随着培育的进行呈先降低后升高的变化，并由无差异变为显著性差异。碱渣处理(A)始终保持较高的 MBC，90 天时达到 208.0 mg/kg，与无添加剂处理(N)相比增加 46.5%，而对照低于其他处理 160% 以上，并较培养前(第 0 天)MBC 降低 54.39%。图 2b 结果表明红壤微生物生物量氮(MBN)的变化规律与 MBC 相似，秸秆腐解物对其有明显影响，MBN 较培养前增加 177.5%~290.9%。60 天时除碱渣处理(A)外，其他两种添加剂

处理的 MBN 明显低于对照，90 天时添加剂处理的 MBN 显著高于对照，碱渣配合 FeSO_4 处理(AF)最大，碱渣处理(A)次之，二者差异不显著。
2.3.2 不同秸秆腐解物处理对红壤微生物群落功能多样性的影响 培养结束时，采用 Biolog 法测定了各处理微生物平均吸光值(AWCD)，结果表明各秸秆腐解物处理下微生物对碳源的吸收能力随时间的延长而增强，48 h 前吸收值很小，48 h 以后 AWCD 值迅速升高(图 3)。不同处理对碳源的吸收速率不同，碱渣处理(A)到达 0.10 以上吸光值的时间是 96 h，而其他处理则需要 120 h，说明碱渣处理(A)可快速促进微生物生长。在整个培养过程中，碱渣处理(A)的 AWCD

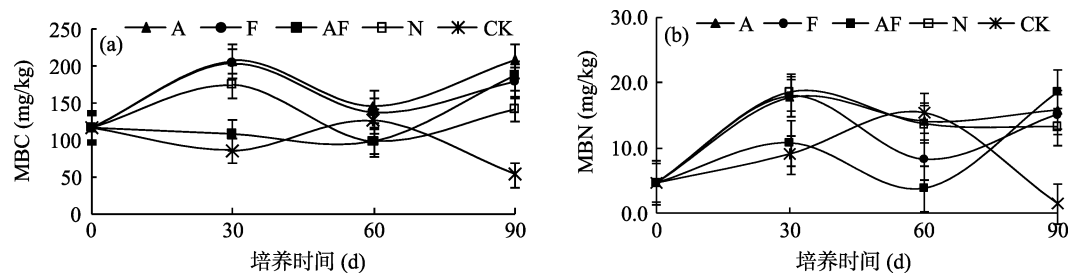


图 2 不同处理红壤微生物量碳(a)、微生物量氮(b)含量变化
Fig. 2 Changes of MBC (a) and MBN (b) of red soil under different treatments

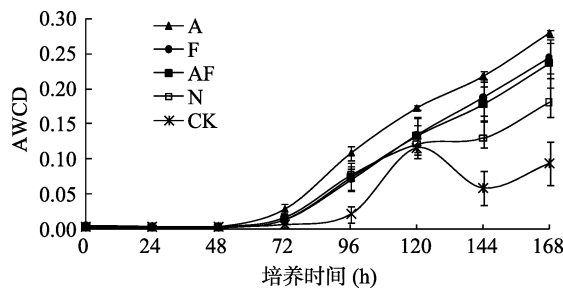


图 3 微生物在培养过程中的平均吸光值(AWCD)变化
Fig. 3 Changes in average well color development (AWCD) of microorganism during incubation

值最高，并且处理间始终表现为碱渣>FeSO₄>碱渣配合 FeSO₄>无添加剂>对照，无添加剂处理(N)和对照一直小于 0.2，微生物生长缓慢。可见添加剂秸秆腐解物尤其是碱渣处理对微生物生长有明显的促进作用。

土壤微生物种群结构反映了土壤生态系统群落结构和稳定性，可以敏感地指示土壤养分以及环境质量的变化程度。根据 AWCD 随时间的变化曲线，选择 168 h 时培养的 AWCD 值计算各处理微生物群落功能多样性指数。由表 3 可知，与对照相比，秸秆腐解物不同程度地增加了微生物群落功能多样性指数，并达到显著性差异，这与孔维栋等^[19]的研究结果相符。其中碱渣处理(A)的各指数值最大，分别为 2.94(H['])、16.13(D)和 2.16(U)，分别高于无添加剂处理(N)0.03%、2.28%和 53.19%，而 FeSO₄ 处理(F)和碱渣配合 FeSO₄ 处理(AF)处理的 H[']、D 指数均低于无添加剂处理(N)。

表 3 不同处理红壤微生物群落多样性指数
Table 3 Microbial diversity indexes under different treatments

处理	Shannon 指数(H ['])	Simpson 指数(D)	McIntosh 指数(U)
A	2.94 ± 0.04 a	16.13 ± 1.26 a	2.16 ± 0.08 a
F	2.86 ± 0.05 a	14.50 ± 0.74 a	1.99 ± 0.20 a
AF	2.88 ± 0.02 a	15.31 ± 0.55 a	1.88 ± 0.29 a
N	2.94 ± 0.04 a	15.77 ± 0.99 a	1.41 ± 0.21 a
CK	2.09 ± 0.35 b	6.68 ± 2.66 b	1.13 ± 0.18 b

3 讨论

添加剂处理不仅影响秸秆腐解产物的养分含量，而且改变了腐解产物的腐殖化程度和品质，提高了其无害化效果。以碱渣(A)和 FeSO₄(F)处理为例，其腐殖酸含量分别为 71.4 g/kg 和 76.1 g/kg，胡富比分别为 2.01 和 1.51，芳香化和缩合度都较高。另外，添加剂处理的秸秆腐解产物的发芽指数一般为 77.16% ~ 92.5%，其中碱渣处理高于无添加剂处理(N)180.5%。而上述高品质的腐解产物进入土壤后对于缓解土壤酸化、提升土壤肥力和生物功能势必产生潜在影响。

pH 结果显示，只有碱渣处理相对于原土有所提高，可能是碱渣添加剂的秸秆腐解更彻底，产生较多弱酸，因此，虽然碱渣处理秸秆腐解物本身的 pH 较低(仍然>8.0)，但是其中的有机弱酸与土壤胶体的缓冲作用反而降低了红壤酸化进程^[20]；活性较高的微生物将较多的土壤氮转化为其体内的有机氮，导致了秸秆腐解物处理的碱解氮含量低于对照；向土壤施用添加剂秸秆腐解物也会带入无机磷，另外，由于其腐熟程度较高，较多的有机酸与土壤中的 Ca、Al、Fe 等离子发生沉淀作用，减少了以上离子与磷的络合反应，有利于磷素有效性的发挥^[21]；速效钾增加幅度较高的仍为添加剂秸秆腐解物处理，主要因为以含钾丰富的水稻秸秆为有机原料，在培肥过程中释放较多的钾，这与黄继川等^[22]的研究一致。

脲酶和转化酶是土壤微生物代谢过程的产物，脲酶直接参与氮素循环，转化酶直接参与有机物的转化、循环^[23]。结果显示，土培 60 天时脲酶和转化酶活性均达到最大值，并表现为添加剂秸秆腐解物>无添加剂秸秆腐解物>对照，张翼等^[23]也有类似的报道。这是由于土壤酶活与有机质有很好的相关性，添加剂秸秆腐解物带入的大量有机质促进微生物代谢，可提高土壤酶活性，另外有机物可以结合

土壤酶,对其起到保护作用^[24-25]。从结果还得知,虽然差异不显著,但是 90 天时碱渣配合 FeSO_4 处理(AF)的脲酶活性较高,这可能是由于随培养时间延长,有机物的分解产生的矿质氮对脲酶具有抑制作用,而各处理中 AF 处理的土壤可溶性氮含量最低为 4.66 mg/kg,其他处理为 9.30 ~ 21.34 mg/kg,因此其抑制作用最小^[26]。60 天后碱渣(A)、 FeSO_4 (F)处理的转化酶活性始终大于其他处理,并且差异显著,主要因为以上两种处理的秸秆腐解物的腐殖酸含量较多,芳香化、缩合度较高,而结构稳定、品质较高的有机质进入土壤后留存时间长,对酶的保护更好。

分析土壤 MBC、MBN 的变化可评价土壤的健康状况,从而为土壤培肥提供可靠依据^[27]。微生物生物量与土壤中的有机质、速效养分有一定的相关性,秸秆腐解物的有机物质恰恰可补充微生物所需的各种养分^[28]。本试验结果显示,秸秆腐解物明显增加了微生物生物量,这与 Marinari 等^[29]的研究结果一致,在整个培养阶段 MBC、MBN 均表现为先减少后增加的变化规律,保证了培养后期土壤的微生物活性。培养结束时 MBC 最高的为碱渣处理,这是因为该处理秸秆腐解物具有适宜的 C/N(26.81),施入土壤后有利于微生物生长。有研究表明,与 MBC 不同,随着培养的延长,土壤 MBN 的变异性很大^[30],本研究中 90 天时虽然碱渣配合 FeSO_4 处理(AF)的 MBN 最高,但由于其变异性较大,与碱渣处理(A)等相比差异并不显著。

添加剂秸秆腐解物可增加微生物的碳源利用能力,而无添加剂秸秆腐解物处理和对照较低,这是因为后两者的速效养分较少,微生物在养分匮乏的条件下生长缓慢^[31],碱渣处理的碳源吸收能力最强, FeSO_4 处理次之,这与丰富的养分供给有关。微生物群落物种丰富度由 Shannon(H')指数反映,群落常见物种的优势度决定于 Simpson(D)指数的高低,McIntosh(U)指数则是群落物种均匀度^[32],相对于对照,秸秆腐解物不同程度地提高了微生物多样性指数,其中碱渣处理的 3 种指数值均高于无添加剂处理和对照,改善了红壤微生态结构,这与碱渣处理的秸秆腐解物提供了较多的养分和能源物质,促进土壤微生物快速生长繁殖有关^[33-34]。

此外,就南方红壤而言,由于其富含铁锰离子,施用 FeSO_4 处理的秸秆腐解物,短期内可能对土壤铁含量影响不明显,但是长期大量施用条件下,可能会存在一定铁过量风险,而碱渣处理风险较低。因此,

综合考虑以上因素,碱渣添加剂处理下的秸秆腐解物更有利于红壤的改良。

4 结论

秸秆腐解物不同程度地影响了红壤养分含量和生物学性质,特别是碱渣处理的秸秆腐解物可以减缓红壤酸化,提高有效养分含量,增强土壤酶和微生物活性,改善红壤微生物群落功能多样性,对红壤肥力和质量的提升作用明显。

参考文献:

- [1] 张桃林. 中国红壤退化机制与防治[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 138
- [2] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报, 1995, 32 (4): 362-369
- [3] 王库, 何东方. 有机肥对旱地红壤供磷效应的研究[J]. 土壤肥料, 2001(5): 19-22
- [4] Pankaj KS, Manjul G, Rakesh KU, Suresh S, Shikha, Nandita S, Sri KT, Bajrang S. Effects of combined application of vermicompost and mineral fertilizer on the growth of *Allium cepa* and soil fertility[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2012, 175: 101-107
- [5] 黄继川, 彭智平, 李文英, 于俊红, 林志军, 杨林香. 施用堆肥对生菜品质和土壤生物活性及土壤肥力的影响[J]. 热带作物学报, 2010, 31(5): 706-710
- [6] 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): 234-243
- [7] 张瑛. 浅谈秸秆直埋还田[J]. 农业机械, 1997(2): 26
- [8] 牟克琚, 王平. 调理剂在猪粪秸秆堆肥中的保氮效果[J]. 广东农业科学, 2008(7): 122-130
- [9] 黄懿梅, 苟春林, 梁军峰. 两种添加剂对牛粪秸秆堆肥化中氮素损失的控制效果探讨[J]. 农业环境科学学报, 2007(3): 1 219-1 225
- [10] 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
- [11] 高新昊, 刘兆辉, 张志斌, 江丽华. 不同腐熟程度麦秸堆肥在温室番茄栽培中应用效果研究[J]. 土壤, 2009, 41(2): 253-257
- [12] 孔维栋, 刘可星, 廖宗文, 朱永官, 王碧玲. 不同腐熟程度有机物料对土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2 291-2 296
- [13] Brunetti G, Senesi N, Plaza C. Organic matter humification in olive oil mill wastewater by abiotic catalysis with manganese oxide[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(17): 8 528-8 531
- [14] 刘明, 李忠佩, 路磊, 车玉萍. 添加不同养分培养下水稻土微生物呼吸和群落功能多样性变化[J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 1 108-1 115
- [15] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 73-164

- [16] 关松荫. 土壤酶及研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986
- [17] Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19: 703–707
- [18] Zhong WH, Cai ZC. Long-term effects of inorganic fertilizers on microbial biomass and community functional diversity in a paddy soil derived from quaternary red clay[J]. Applied Soil Ecology, 2007, 36: 84–91
- [19] 孔维栋, 刘可星, 廖宗文. 有机物料种类及腐熟水平对土壤微生物群落的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 487–492
- [20] 杨亚军. 中国茶树栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005
- [21] Zeng LS, Liao M, Chen CL, Huang CY. Effects of lead contamination on soil enzymatic activities, microbial biomass, and rice Physiological indices in soil rice (*Oryza sativa* L.) system[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2007, 67: 67–74
- [22] 黄继川, 彭智平, 于俊红, 杨林香, 林志军. 玉米秸秆堆肥处理对芥菜品质及土壤肥力的影响[J]. 广东农业科学, 2009(12): 88–91
- [23] 张翼, 张长华, 王振民, 黄建国. 连作对烤烟生长和烟地土壤酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(12): 211–215
- [24] García CT, Hernández T, Costa F, Ceccanti B, Ganni A. Microbial biomass turnover and enzyme activities following the application of farm yard manure to field soils with and without previous long-term applications[J]. Biology and Fertility of Soils, 1993, 15: 60–64
- [25] Pascual JA, Moreno, JL, Hernández T, García C. Persistence of immobilized and total urease and phosphatase activities in a soil amended with organic wastes[J]. Bioresource Technology, 2002, 82: 73–78
- [26] García-Gil JC, Plaza C, Soler-Rovira P, Polo A. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2000, 32: 1907–1913
- [27] 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): 89–96
- [28] 胡诚, 曹志平, 罗艳蕊, 马永良. 长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物生物量碳的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 48–51
- [29] Marinari S, Masciandaro G, Ceccanti B, Grego S. Evolution of soil organic matter changes using pyrolysis and metabolic indices: A comparison between organic and mineral fertilization[J]. Bioresource Technology, 2007, 98: 2495–2502
- [30] Eirini K, Shiping D, David LN, Argyrios G, Samuel DF. Spatial structure of microbial biomass and activity in prairie soil ecosystems[J]. European Journal of Soil Biology, 2010, 46: 181–189
- [31] 李忠佩, 吴晓晨, 陈碧云. 不同利用方式下土壤有机碳转化及微生物群落功能多样性变化[J]. 中国农业科学, 2007, 40(8): 1712–1721
- [32] 张辉, 李维炯, 倪永珍. 生物有机无机复合肥对土壤微生物活性的影响[J]. 农村生态环境, 2004, 20(1): 37–40
- [33] Moscatelli MC, Lagomarsino A, Marinari S, Angelis PD, Grego S. Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation[J]. Ecological Indicators, 2005, 5: 171–179
- [34] Joergensen RG, Emmerling C. Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agricultural soils[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2006, 169(3): 295–309

Effects of Different Additives Promoted Straw Decomposition on Red Soil Property

ZHAI Xiu-cai^{1,2}, LIU Ming¹, LI Zhong-pei^{1,3*}, XU Yang-chun²

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)*, Nanjing 210008, China; 2 *College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University*, Nanjing 210095, China; 3 *University of Chinese Academy of Sciences*, Beijing 100049, China)

Abstract: Recycling and efficient use of organic-waste is a pressing issues facing the actual production. To provide a theoretical basis for scientific and rational management and improving the red soil fertility and biological function, changes of soil nutrients and biological properties were studied by incubation experiment in this study. The results showed that there were significant effects on physicochemical and biological properties of red soil. Treatment of alkali slag could alleviate the acidification of red soil. Although there were no obvious effects between treatments on alkali-hydrolyzed nitrogen, straw decomposition promoted by additive, especially FeSO_4 could improve the available phosphorus and potassium. After 60 d, the urease and invertase activities of additives treatments reached peak values and was in an order of additives straw decomposition > none additives straw decomposition > control. The MBC and MBN reduced first and then increased during incubation time. In the end, the MBC of alkali slag treatment was 46.5% and 286.2% higher than those of none additives and control respectively, but the MBN of FeSO_4 treatment was highest in our study. The carbon utilization abilities of soil microbial were improved by treatments, especially by the alkali slag treatment. Our results suggested that the straw decomposition promoted by alkali slag could enhance the fertility and biological function of red soil obviously, this will provide scientific reference for improving the quality of red soil.

Key words: Additives of decomposition, Rice straw, Red soil nutrient, Biological property