

农业有机废弃物还田的生态经济效益研究^①

吴海勇, 李明德*, 刘琼峰, 吴小丹

(湖南省土壤肥料研究所, 长沙 410125)

摘要: 通过大田试验, 将稻草及其利用后的有机废弃物(菌渣、牛粪、沼渣)替代部分无机化肥应用于水稻生产, 研究了其对土壤养分、微生物数量、酶活性、水稻产量及经济效益的影响。结果表明, 与不施肥处理(CK)和纯施用化肥处理(NPK)相比, 4种有机废弃物还田均能一定程度地增加土壤有机质、速效养分的含量, 增加细菌、放线菌和真菌的数量, 增加微生物总活性及脲酶、磷酸酶及脱氢酶的活性; 与常规纯化肥处理相比, 早稻增加实际收入 15.0~2 690.0 元/hm² (0.2%~29.7%), 晚稻增加实际收入 180.0~1 737.5 元/hm² (1.3%~12.2%), 其中沼渣还田效果最佳, 同时能减少 10%~20% 的无机化肥用量和处理农业有机废弃物 6 250~22 500 kg/hm², 获得了生态、经济效益的双赢。但是, 稻草焚烧处理在上述方面均未取得理想效果, 且焚烧污染大气环境, 是不可取的还田方式。

关键词: 农业有机废弃物; 土壤养分; 土壤微生物; 土壤酶; 经济效益

中图分类号: S154

农业循环经济既是一种新的经济发展理念, 在发展循环农业过程中, 农作物秸秆已经成为了不可或缺的重要资源^[1]。随着我国农业综合生产水平的持续提高, 秸秆总产量总体上呈现不断增长之势^[2], 秸秆的利用水平也随着农村产业的发展有了一定程度的提高, 但是仍存在许多突出问题, 如直接焚烧等不合理的利用方式不仅造成资源浪费, 且严重污染生态环境^[3]、秸秆利用后的废弃物没有得到科学合理的解决等。因此, 为秸秆及其利用后的废弃物寻找合理的出路已经成为了关系到生态环境质量和农业可持续发展的热点研究之一。

国内外相关领域学者对秸秆不同还田方式和数量对土壤生态^[4-6]、作物产量^[7-8]、温室气体排放^[9-10]的影响等进行了许多研究, 但对稻草利用后的有机物在资源化还田的生态经济效益研究尚少见报道。为此, 本研究在南方双季稻区, 通过大田试验, 研究了稻草及其利用后的有机废弃物还田对土壤养分、微生物数量、酶活性及水稻生产经济效益的影响, 旨在为稻草及其利用后的废弃物的资源化再利用和农业的可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

该定位试验在湖南省长沙县干杉乡双季稻田进

行, 始于 2008 年 4 月, 已连续开展了 3 年。供试土壤为第四纪红色黏土发育的红黄泥, 2008 年试验前土壤基本理化性质为: pH 5.2, 有机质 18.5 g/kg, 碱解氮 124.0 mg/kg, 有效磷 13.4 mg/kg, 速效钾 47 mg/kg。2010 年水稻品种: 早稻为中嘉早 17 号, 晚稻为农香 18 号。

供试无机氮、磷、钾肥分别为尿素(含 N 460 g/kg)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 120 g/kg)、氯化钾(含 K₂O 600 g/kg); 4 种试验有机废弃物分别为稻草、稻草栽培食用菌后的菌渣、稻草过腹后的新鲜牛粪、稻草产沼气后的沼渣, 养分状况见表 1 (稻草有机质的含量项目中为全碳的含量)。

表 1 试验用有机废弃物的养分含量 (g/kg)
Table 1 Nutrient contents of different organic wastes

有机废弃物	有机质	全氮	全磷	全钾
稻草	404.2 (全 C)	6.5	0.8	20.2
菌渣	547.5	17.7	24.2	24.8
牛粪	700.4	15.2	18.2	10.0
沼渣	471.1	12.3	35.1	7.7

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验设置 7 个处理: ①对照 (CK), 不施肥; ②常规施肥 (NPK), 即按照当地

①基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD14B17)资助。

* 通讯作者 (limingde460@sohu.com)

作者简介: 吴海勇 (1984—), 男, 湖南郴州人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为土壤肥力与土壤生态学。E-mail: haiyongwu@163.com

习惯纯施化肥；③90% 常规施肥化肥用量 + 稻草深埋还田 (NPK+S)；④90% 常规施肥化肥用量 + 稻草栽培食用菌后 (菌渣) 还田 (NPK+FD)；⑤80% 常规施肥化肥用量 + 稻草过腹 (牛粪) 还田 (NPK+CD)；⑥80% 常规施肥化肥用量 + 稻草产沼气后 (沼渣) 还田 (NPK+BD)。⑦100% 常规施肥化肥用量 + 稻草焚烧还田 (NPK+S')。随机区组排列，重复 3 次。(养分用量设计主要以控制总氮投入量为主。有机肥肥效慢，从保证水稻产量考虑，有机物料处理的总氮投入量略高于纯化肥处理，NPK+S、NPK+FD 两处理保证总氮投入早稻时为 190 kg/hm²，晚稻为 205 kg/hm²；NPK+CD、NPK+BD 两处理保证总氮投入早稻时为 215 kg/hm²，晚稻为 230 kg/hm²；稻草和菌渣主要成分为秸秆，分解慢，养分释放较慢，所以仅减少 10% 化肥用量，而牛粪、沼渣经发酵后，分解较快，减少了 20% 化肥用量)。早、晚稻都施用如下量的有机物料，稻草 (6 250 kg/hm²)、牛粪 (22 500 kg/hm²)、菌渣 (7 500 kg/hm²)、沼渣 (22 500 kg/hm²)。有机物料和磷肥作基肥一次施用，稻草、牛粪、菌渣、沼渣均采用深埋还田，稻草切成 20 cm 左右长度，焚烧的稻草量与直接还田用量相同；氮肥：50% 作基肥，40% 作分蘖肥，10% 作穗肥；钾肥：早稻：60% 作基肥，40% 作分蘖肥，晚稻：50% 作基肥，50% 作分蘖肥。

小区面积为 4 m × 5 m，小区之间的田埂用塑料薄

膜铺盖，防止小区间串水。早稻 4 月 30 日移栽，7 月 17 日收获；晚稻 7 月 20 日移栽，10 月 17 日收获，种植密度早稻为 20 株 × 35 株 = 700 株/20 m²，晚稻为 20 株 × 25 株 = 500 株/20 m²。其他管理措施按当地常规操作进行。

1.2.2 测定项目及方法 2008 年试验前取基础土样，本文中所有早、晚稻数据均为 2010 年取样分析所得。早、晚稻收割的同时，在每个小区采集土壤样品，采用常规分析方法^[11]，分析土壤有机质、速效养分等；微生物数量的测定采用稀释平板法测定^[12]；磷酸酶采用氨基安替比林-铁氰化钾法测定；土壤脲酶活性采用苯酚次氯酸比色法测定；脱氢酶采用 TTC 比色法测定^[13]。

水稻收获时每个小区单打，单收，单计产，测定每个小区稻谷的实际产量。

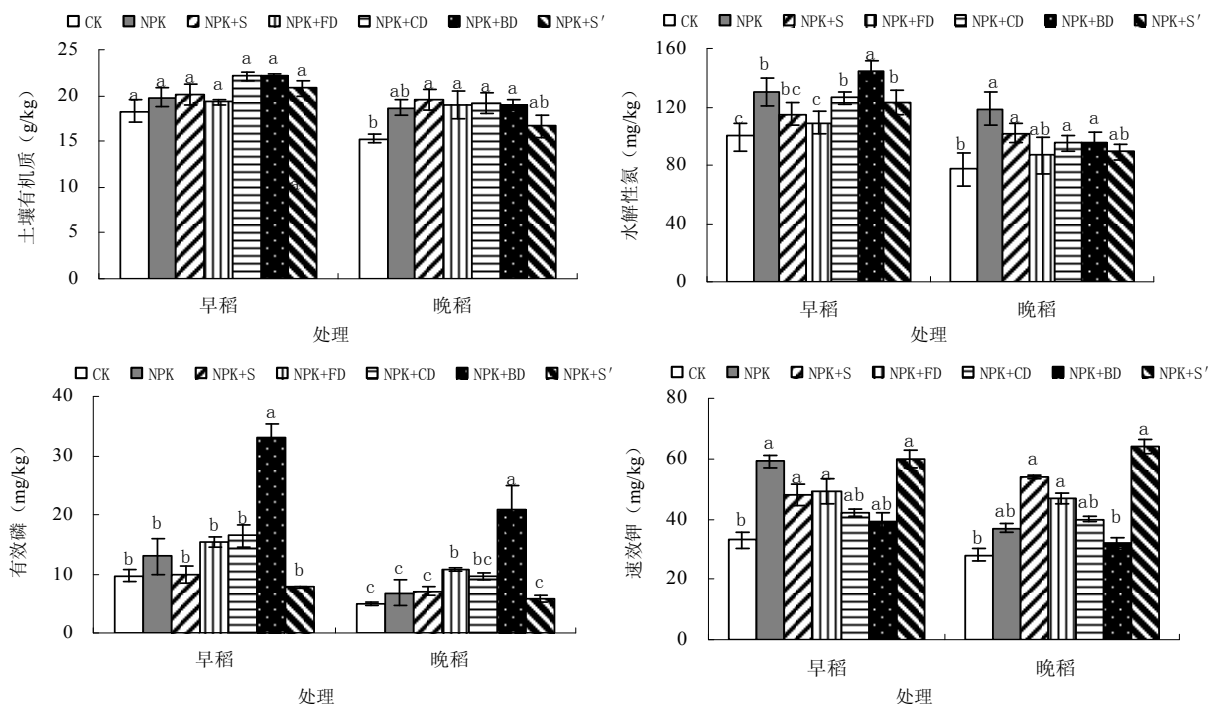
1.3 数据分析

用 Microsoft Excel 2003 软件进行数据处理和作图，用 SPSS13.0 统计分析软件进行数据差异性检验。

2 结果分析

2.1 不同处理对土壤养分的影响

土壤有机质是土壤的重要组成部分，土壤的物理、化学、生物学等许多属性都直接或间接地与有机质的存在有关，是衡量土壤肥力的一项重要标准^[14]。由图 1 可以看出，早、晚稻土壤有机质含量均以 CK 处理最



(图中小写字母表示不同处理在 $P < 0.05$ 水平差异显著)

图 1 不同处理对土壤养分的影响

Fig. 1 Soil nutrients under different treatments

低,分别为 18.3、15.3 g/kg; 4 个有机废弃物还田处理有机质含量与 CK、NPK 处理相比,都有所提高,方差分析表明,晚稻 4 个处理与 CK 处理均达到了显著性差异。而 NPK+S' 处理,有机质增加效果不明显。

由图 1 还可知,4 种有机废弃物还田后,土壤速效氮、磷、钾有了显著的变化,无论是早稻或晚稻,均以 CK 处理速效养分含量最低。早稻时水解性氮以 NPK+BD 处理最高,为 130.0 mg/kg,其次为 NPK 处理,晚稻时以 NPK 处理最高,而其他处理相对较低,这可能由有机物氮素的转化和释放较慢等原因造成的。另外,晚稻处理土壤水解性氮比对应的早稻处理要低,可能晚稻品种植株茂盛,氮消耗量大等所致。NPK+BD 处理有效磷含量明显地高于其他处理,早、晚稻分别为 33.0、20.9 mg/kg,而其他各处理比 CK、NPK 处理有所提高,但变化幅度较小,这主要是由于沼渣中磷含量较高,供磷能力强。早、晚稻均以 NPK+S' 处理速效钾含量最高,分别为 60.0、64.0 mg/kg,稻草焚烧后剩下无机养分中含丰富的钾素,还田后提高了土壤的供钾能力,NPK+BD 处理速效钾含量较低,而其他处理与 CK 处理相比,均有所提高,这和有机废

物中钾含量及腐解速度有着密切的关系。总的看来,有机废弃物替代部分无机化肥还田起到了提高土壤速效养分的作用。

2.2 不同处理对土壤微生物的影响

微生物数量直接影响着土壤生物活性和土壤有效养分供给,是评价土壤肥力的重要指标之一^[12]。由试验结果(表 2)可以看出,双季稻田耕层土壤中细菌数量最大,放线菌次之,真菌最少。从微生物总活性及细菌、真菌、放线菌的数量来看,基本上是以 CK 处理最小,NPK 处理次之。其他 5 个处理的微生物总活性均有所提高,但处理间相差不大,早稻在 CO_2 0.68 ~ 0.72 mg/(d·g) 之间,晚稻在 CO_2 0.32 ~ 0.41 mg/(d·g) 之间;细菌数量早稻在 $22.28 \times 10^4 \sim 49.47 \times 10^4$ cfu/g 之间,晚稻在 $31.13 \times 10^4 \sim 45.99 \times 10^4$ cfu/g 之间,其中 NPK+FD 处理含量相对较高;真菌数量,早稻在 $0.14 \times 10^4 \sim 0.22 \times 10^4$ cfu/g 之间,晚稻在 $0.26 \times 10^4 \sim 0.42 \times 10^4$ cfu/g 之间;放线菌数量相差较小,早稻在 $9.34 \times 10^4 \sim 13.57 \times 10^4$ cfu/g 之间,晚稻在 $4.09 \times 10^4 \sim 5.29 \times 10^4$ cfu/g 之间。从处理间差异来看,稻草焚烧还田对增加真菌、放线菌数量作用相对较小。

表 2 不同处理下土壤微生物数量及酶活性

Table 2 Soil microbial CFUs and soil enzyme activities under different treatments

处理	微生物总活性 (CO_2 mg/(d·g))	细菌 (10^4 cfu/g)	真菌 (10^4 cfu/g)	放线菌 (10^4 cfu/g)	脲酶 ($\text{NH}_3\text{-N}$ mg/(d·g))	磷酸酶 (P_2O_5 mg/h)	脱氢酶 (TPF mg/(kg·d))	
早稻	CK	0.54	19.30	0.10	7.14	2.08	8.59	47.53
	NPK	0.61	26.33	0.16	8.13	3.32	8.78	51.57
	NPK+S	0.71	22.28	0.17	9.34	4.45	11.38	64.40
	NPK+FD	0.68	40.82	0.22	10.70	4.82	10.34	67.51
	NPK+CD	0.72	34.95	0.15	13.57	4.05	11.12	78.23
	NPK+BD	0.68	35.26	0.17	11.69	4.07	13.57	70.98
	NPK+S'	0.72	49.47	0.14	8.13	4.62	9.64	74.19
晚稻	CK	0.22	12.30	0.12	2.82	0.54	5.11	24.11
	NPK	0.29	25.15	0.24	3.57	1.23	6.81	27.21
	NPK+S	0.32	33.98	0.42	4.66	1.87	6.81	51.53
	NPK+FD	0.41	45.99	0.28	5.29	1.64	9.94	29.74
	NPK+CD	0.38	35.62	0.33	4.47	2.17	9.13	28.56
	NPK+BD	0.33	31.94	0.32	4.09	2.49	10.14	33.36
	NPK+S'	0.35	31.13	0.26	4.59	2.35	6.48	34.11

注:各指标均以烘干土质量计算。

微生物总活性和数量在不同的时期也有明显的差异,早稻土壤中微生物总活性及细菌、放线菌数量明显地高于晚稻,这可能是早稻取样在夏季(7月),稻田水土温度、湿度较高,相比晚稻取样时(10月)的

水、气、热环境,更利于微生物的生长和活动。但是晚稻时的真菌数量相对较高,这可能与土壤生态因子及微生物之间的拮抗作用等方面因素有关,具体机理有待进一步研究。

2.3 不同处理对土壤酶活性的影响

土壤酶参与土壤中许多重要生物化学过程和物质循环,包括腐殖质及各种有机化合物的分解与合成,土壤养分的固定与释放,以及各种氧化还原反应,直接参与了土壤营养元素的有效化过程,可以客观地反映土壤肥力状况^[13,15]。

脲酶主要分解有机氮转化过程中形成的尿素氮肥,使之转化成矿物质的 NH_3 供植物吸收利用,其活性可用来衡量土壤氮素供应状况。从表 2 可以看出,早稻或晚稻,均是以 CK 处理脲酶活性最低, NPK 处理次之,有机废弃物还田后,脲酶活性有所提高,但是处理之间的差异较小,早稻在 $\text{NH}_3\text{-N}$ 4.05 ~ 4.82 mg/(d·g) 之间,晚稻在 $\text{NH}_3\text{-N}$ 1.64 ~ 2.49 mg/(d·g) 之间。

磷酸酶活性能够催化磷酸单酯的水解及无机磷酸释放,其高低直接影响着土壤有机磷的分解转化及其生物有效性。试验数据显示(表 2),早、晚稻 4 个废弃物还田处理和稻草焚烧处理磷酸酶活性均高于 CK 和 NPK 处理,说明有机废物对提高磷的转化能力及其生物有效性有一定的促进作用。其中又以 NPK+BD 处理最高,早、晚稻时分别为 P_2O_5 13.57、10.14 mg/h,可能是沼渣磷含量较高所致,也反映出磷素对保持和促进磷酸酶活性起着较重要的作用,这与郑勇等^[16]研究结论相同。

脱氢酶能催化有机物质的氧化反应,土壤中的脱

氢酶活性既反映土壤的物质代谢能力也可以间接反映土壤中微生物生物数量。表 2 显示,脱氢酶与脲酶表现出相似的变化特征,CK 处理活性最低,与纯施化肥的 NPK 处理相比,有机废弃物还田后,脱氢酶活性都有所提高,早稻增幅为 24.8% ~ 51.6%,晚稻增幅为 4.9% ~ 89.4%,这反映有机废弃物还田能提高土壤物质的代谢能力,也提高了微生物数量,这之前微生物数量分析结果一致。总体来讲,几种农业有机废弃物还田均能一定程度地提高脲酶、磷酸酶及脱氢酶的活性。

2.4 土壤养分、微生物数量及酶活性相关性分析

土壤养分尤其是有机质含量是土壤微生物碳、氮及其他营养元素的来源,而土壤微生物种类和数量在某种程度上又决定土壤酶的来源,土壤微生物与土壤酶一起推动着土壤的生物化学过程^[17-18],所以土壤养分、微生物数量及土壤酶活性之间必然存在着某种程度的相关性。如表 3 所示,细菌和微生物总活性、真菌、放线菌数量呈正相关,微生物总活性与放线菌数量呈极显著性正相关,但是真菌与微生物总活性、放线菌数量呈负相关。3 种酶活性除与有机质、水解性氮含量、微生物总活性达到极显著性正相关外,其两两之间也达到了极显著性正相关,说明有机废弃物还田后,对双季稻田土壤生化性质影响的过程中,各种土壤酶并不是孤立地发挥作用,而是存在着相互制约、相互促进的复杂关系。

表 3 土壤养分、微生物数量及酶活性之间的相关性分析

Table 3 Correlations among soil nutrients, soil microbial CFUs and soil enzyme activities

项目	有机质	水解性氮	微生物总活性	细菌	真菌	放线菌	脲酶	磷酸酶	脱氢酶
有机质	1.000								
水解性氮	0.661**	1.000							
微生物总活性	0.649**	0.922**	1.000						
细菌	0.214	0.079	0.348	1.000					
真菌	-0.102	-0.688**	-0.525	0.327	1.000				
放线菌	0.526	0.865**	0.924**	0.287	-0.495	1.000			
脲酶	0.746**	0.775**	0.927**	0.458	-0.304	0.848**	1.000		
磷酸酶	0.639**	0.846**	0.763**	0.439	-0.181	0.773**	0.749**	1.000	
脱氢酶	0.776**	0.644**	0.914**	0.363	-0.380	0.911**	0.894**	0.662	1.000

注: * 表示显著性相关 ($P < 0.05$), ** 表示极显著性相关 ($P < 0.01$)。

2.5 经济效益分析

由表 4 可以看出,无论早稻或晚稻,CK 处理产量、实际收入明显低于其他处理,这说明施肥能显著地提高水稻的经济效益;4 个有机废弃物还田处理及焚烧还田处理与 NPK 处理相比,早稻实际收入增加了 15.0 ~ 2 690.0 元/ hm^2 (0.2% ~ 29.7%),晚稻实际

收入增加了 180.0 ~ 1737.5 元/ hm^2 (1.3% ~ 12.2%),产投比也有明显的提高,其中又以 NPK+BD 处理的增加幅度最大,而 NPK+S' 处理的效果最小,这说明,4 种有机废弃物替代部分无机化肥还田能降低肥料成本、提高水稻产量,提高产投比和实际收入,获得更好的经济效益;但是,与 NPK 处理相同化肥

表4 不同处理对水稻产量和经济效益的影响

Table 4 Rice yields and economic benefits under different treatments

处理	小区产量 (kg/20m ²)	平均产量 (kg/hm ²)	总收入 (元/hm ²)	投入成本 (元/hm ²)	实际收入 (元/hm ²)	产投比	与 NPK 处理比较
							(元/hm ²)(%)
早稻	CK	6.22 b	3 108.3	5 595.0	0.0	5 595.0	-3465.0(-38.2)
	NPK	12.03 a	6 016.7	10 830.0	1 770.0	9 060.0	0.0(0)
	NPK+S	12.62a	6 308.3	11 355.0	1 605.5	9 749.5	6.07 689.5(7.6)
	NPK+FD	13.30 a	6 650.0	11 970.0	1 605.5	10 364.5	6.46 1 304.5(14.4)
	NPK+CD	12.75 a	6 375.0	11 475.0	1 420.0	10 055.0	7.08 995.0(11.0)
	NPK+BD	14.63 a	7 316.7	13 170.0	1 420.0	11 750.0	8.27 2 690.0(29.7)
	NPK+S'	12.05 a	6 025.0	10 845.0	1 770.0	9 075.0	5.13 15.0(0.2)
晚稻	CK	8.10b	4 050.0	10 935.0	0.0	10 935.0	-3 302.5(-23.2)
	NPK	11.97 a	5 983.3	16 155.0	1 917.5	14 237.5	7.43 0.0(0)
	NPK+S	12.27 a	6 133.3	16 560.0	1 723.8	14 836.2	8.61 598.7(4.2)
	NPK+FD	12.40 a	6 200.0	16 740.0	1 723.8	15 016.2	8.71 778.7(5.5)
	NPK+CD	12.30 a	6 150.0	16 605.0	1 530.0	15 075.0	9.85 837.5(5.9)
	NPK+BD	12.97 a	6 483.3	17 505.0	1 530.0	15 975.0	10.44 1 737.5(12.2)
	NPK+S'	12.10 a	6 050.0	16 335.0	1 917.5	14 417.5	7.52 180.0(1.3)

注：早稻谷以价格 1.8 元/kg，晚稻谷价格以 2.7 元/kg 计算；本试验由于各小区农药、劳力等成本相同，投入成本只计算了化肥成本，实际收入 = 总收入 - 投入成本，总收入 = 总产量 × 稻谷价格；“+”表示增加，“-”表示减少。

用量的基础上，稻草焚烧还田的经济效益增加非常小。

3 结论与讨论

试验中稻草或稻草循环利用后的残留物（牛粪、菌渣、沼渣），其本身仍含有丰富纤维素、木质素等富碳物质以及氮、磷、钾多种营养元素^[19]。试验结果表明 4 种农业废弃物还田后，土壤有机质和速效养分都有了一定程度的提高。这主要是由于有机废弃物中富含纤维素、木质素等富碳物质腐解后，增加了土壤有机物的含量，氮、磷、钾等无机养分也不断地释放和转化出来；另外一方面，随着土壤有机物质含量的增加，加速了土壤微生物繁衍和活性的提高，使得土壤本身的养分得到活化。有机质和速效养分的增加一定程度地提高了土壤肥力水平。而稻草焚烧后，仅剩余少量的无机灰分，故 NPK+S' 处理土壤有机质、水解性氮和有效磷增加效果均不明显。

土壤微生物与土壤酶一起作用于土壤物质转化和能量流动，并参予许多重要的生物化学反应过程，二者一起推动着土壤的代谢过程^[20]。4 种有机废弃物本身含有一定数量的微生物，尤其是牛粪和沼渣经过发酵过程后，富含了大量的微生物，深埋还田后，增加了土壤微生物数量；另外，随着有机物质的腐解，表

层土壤中腐殖质含量、水解性氮含量提高，给微生物繁殖提供了适宜的环境和丰富的养分，细菌和放线菌数量明显增加，微生物总活性也得以加强，这对提高土壤肥力也有较好的促进作用。许多资料指出^[17,21]，土壤中细菌和放线菌的数量与有机质、水解性氮含量、C/N 比的大小呈正相关，这与本文以上结论基本一致。但是真菌活性与有机质、水解性氮含量呈负相关，这可能与微生物之间的拮抗作用有关，具体的机理有待进一步的研究。有机废弃物还田后，土壤脲酶、磷酸酶、脱氢酶活性都有了一定程度的提高，这是由于有机废弃物腐解使得土壤综合生态因子得到了改善，土壤中的微生物数量增加、活性更趋活跃，促进了酶活性的提高；而酶活性的提高又增强了土壤微生物的活动，形成了良好的“互动效应”。

农业废弃物污染已经成为了农村生态环境面临的突出问题之一。本研究中，科学合理地将稻草及其利用后的废弃物替代部分无机化肥还田，一方面不仅节约了 10%~20% 的化肥成本，降低了投入成本，还增加了 0.2%~29.7% 的农田实际收入；另一方面每公顷稻田每季可以转移、处理 6 520~2 250 kg 农业废弃物，合理有效将其资源化，提高了资源利用率，减少了化肥和其本身对土壤、水体环境的污染，这对减少农村

环境的污染, 加速新农村建设进程有着非常重要的意义。

总之, 农业有机废弃物还田是合理的资源再利用过程, 改善了土壤化学、生物学性质, 提高了水稻生产的经济效益, 又减少了无机化肥和废弃物本身对环境的污染, 取得了生态、经济效益的双赢。但是, 试验结果表明, 传统的稻草焚烧还田方式, 不仅对增加土壤有机质和速效养分、改善土壤生物学性质及增加水稻生产经济效益均未能取得理想效果, 且稻草焚烧严重污染大气环境, 笔者认为此还田方式并不可取。

参考文献:

- [1] 毕于远. 中国秸秆资源综合利用技术. 北京: 中国农业出版社, 2008
- [2] 高春雨, 王亚静, 李宝玉, 毕于远. 我国秸秆资源短缺与过剩问题探讨. 农机化研究, 2010(4): 209-212
- [3] 刘世平, 聂新涛, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲. 稻麦两熟条件下不同土壤耕作方式与秸秆还田效用分析. 农业工程学报, 2006, 22(7): 48-51
- [4] Beare MH, Wilson PE, Fraser PM. Management effects on barely straw decomposition, nitrogen release, and crop production. Soil Science Society of American Journal, 2002, 66: 848-856
- [5] Li QQ, Chen YH, Liu MY, Zhou XB, Yu SL, Dong BD. Effects of irrigation and straw mulching on microclimate characteristics and water use efficiency of winter wheat in North China. Plant Production Science, 2008, 11(2): 161-170
- [6] 余冬立, 王凯荣, 谢小立, 陈敏, 林蕴华. 稻草还田的土壤肥力与产量效应研究. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 100-104
- [7] Aynehband A, Tehrani M, Nabati DA. Effects of residue management and N-splitting methods on yield and biological and chemical characters of canola ecosystem. Journal of Food Agriculture & Environment, 2010, 8(2): 317-324
- [8] 黄河仙, 王凯荣, 谢小立. 不同施氮水平和稻草添加量对水稻和玉米产量的影响. 农业现代化研究, 2008, 29(4): 486-489
- [9] Ma J, Ma ED, Xu H, Yagi K, Cai ZC. Wheat straw management affects CH₄ and N₂O emissions from rice fields. Soil Biology & Biochemistry, 2009, 41(5): 1 022-1 028
- [10] Ma ED, Zhang GB, Ma J. Effects of rice straw returning methods on N₂O emission during wheat-growing season. Nutrient Cycling Agroecosystem, 2010, 88(3): 463-469
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 农业科技出版社, 2000
- [12] 石春红, 郑有飞, 吴芳芳, 刘宏举, 赵泽, 胡程达. 大气中臭氧浓度增加对根际和非根际土壤微生物的影响. 土壤学报, 2009, 46(5): 894-898
- [13] 董艳, 董坤, 郑毅, 田芝花, 鲁耀, 汤利. 种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响. 农业环境科学学报, 2009, 23(3): 527-532
- [14] 陆琦, 马克明, 张洁瑜, 卢涛, 倪红伟. 三江平原退化湿地和农田土壤养分的比较研究. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 23-28
- [15] 毛亮, 高扬, 曹杰君, 陈晓燕, 周培, 张春华, 靳治国, 施婉君. 不同土地利用方式下 Cd、Pb 复合污染对土壤酶活性的影响. 生态与农村环境学报, 2010, 26(2): 167-173
- [16] 郑勇, 高勇生, 张丽梅, 何园球, 贺纪正. 长期施肥对旱地红壤微生物和酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(2): 316-321
- [17] 徐恒, 廖超英, 李晓明, 王彦武. 榆林沙区人工固沙林土壤养分、微生物数量和酶活性研究. 西北林学院学报, 2008, 23(3): 12-15, 20
- [18] 张亚玉, 孙海, 宋晓霞. 农田栽参根区土壤酶活性与土壤养分的关系. 吉林农业大学学报, 2010, 32(6): 661-665, 683
- [19] 李明德, 吴海勇, 聂军, 石生伟. 稻草及其循环利用后的有机废弃物还田效用研究. 中国农业科学, 2010, 43(17): 3 572-3 579
- [20] 姬兴杰, 熊淑萍, 李春明, 张伟, 马新明. 不同肥料类型对土壤酶活性与微生物数量时空变化的影响. 水土保持学报, 2008, 22(1): 123-127, 133
- [21] 付刚, 刘增文, 崔芳芳. 秦岭山区典型人工林土壤酶活性、微生物及其与土壤养分的关系. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(10): 88-93

Ecological and Economical Effects of Agricultural Organic Wastes Returning on Rice Fields

WU Hai-yong, LI Ming-de, LIU Qiong-feng, WU Xiao-dan

(Institute of Soil and Fertilizer, Academy of Agricultural Sciences of Hunan Province, Changsha 410125, China)

Abstract: A field experiment was carried out to study the effects of straw and organic wastes of straw recycling (fungus dregs, cow dung and biogas dregs) returning on soil fertility, ecologic benefit and economic benefit. In this paper, two control treatments with no fertilizers and sole chemical fertilizers and four organic matter treatments and a straw burning treatment were set to determine the effects of above four organic residues on soil nutrients, soil microbial CFUs, soil enzyme activities, rice yield and economic benefit. The results showed that the contents of soil organic matter and available nutrients, the CFUs of bacteria and actinomycetes and fungus, and the activities of microorganism and urease, phosphatase and dehydrogenase were increased with the application of the above four organic waste residues. Compared with NPK treatment, the economic benefit in treatments with the incorporation of organic waste residues increased 15.0 - 2 690.0 yuan/hm² (0.2% - 29.7%) in early rice and 180.0 - 1737.5 yuan/hm² (1.3% - 12.2%) in late rice, and the economic benefit increased most in NPK+BD treatment. With the incorporation of organic residue (6 250 - 2 2500 kg/hm²), the chemical fertilizer dose was reduced by 10% - 20%. Such practice could bring double win of ecologic benefit and economic benefit. But, the increase of ecologic benefit and economic benefit of straw burning treatment was not significant, and may pollute atmospheric seriously, thus should be give up in the future.

Key words: Agricultural organic wastes, Soil nutrient, Soil microorganism, Soil enzyme, Economic benefit