

秸秆促腐还田对土壤养分和小麦产量的影响^①

马超^{1,2}, 周静², 郑学博², 刘满强¹, 李辉信^{1*}, 姜中山³, 王维国³

(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;

3 霍邱县种植业发展局, 安徽霍邱 237400)

摘要: 利用布置在沿淮地区的两处田间试验, 通过设计单施化肥 (F)、单施化肥基础上加施秸秆 (SF)、单施化肥基础上加施秸秆和腐秆剂 (SFD)、单施化肥基础上减施 20% 磷钾肥 (按 P_2O_5 和 K_2O 计) 后加施秸秆和腐秆剂 ($SF_{4/5}D$) 和不施肥对照 (CK) 5 个处理, 研究秸秆促腐还田对沿淮中低产田土壤养分和小麦产量的影响。结果表明: 不同处理小麦产量规律在水稻土上为 $SFD > SF > F > SF_{4/5}D > CK$, 其中 SFD 较 F 有显著差异 ($P < 0.05$), 在砂姜黑土上为 $SF > F > SFD > SF_{4/5}D > CK$, 其中 SF 与 F 相比有显著差异 ($P < 0.05$); 不同处理土壤全氮和碱解氮含量在水稻土上以 SFD 处理最高, 在砂姜黑土上以 SF 处理最高, 处理间无显著差异; 不同处理土壤有机质、速效磷、速效钾和缓效钾含量在水稻土上以 SFD 最高, 与 F 相比差异达到显著水平 ($P < 0.05$), 在砂姜黑土上以 SF 最高, 处理间无显著差异; 两种土壤上处理 $SF_{4/5}D$ 与处理 F 相比, 小麦产量和土壤养分元素含量均无显著差异 ($P < 0.05$)。从而得出以下结论: 在腐秆剂品种选择恰当的条件下, 秸秆与化肥配施并添加腐秆剂的秸秆促腐还田方式可以有效提高土壤肥力和作物当季产量, 即使在单施化肥基础上减施 20% 磷钾肥 (按 P_2O_5 和 K_2O 计), 也不会影响该处理的培肥和增产效果。

关键词: 秸秆还田; 腐秆剂; 沿淮地区; 土壤养分; 小麦产量

中图分类号: S158.3

我国每年约产生 7 亿 t 农作物秸秆^[1]。秸秆作为重要的有机肥源, 科学合理的利用是培肥土壤和提高作物产量的重要措施之一, 而不合理的利用则会导致资源浪费、土壤质量退化、作物产量下降、污染环境等问题^[2]。因此, 研究秸秆科学合理的有效还田对发展有机可持续农业具有重要的意义。

目前已有大量文献报道秸秆还田可以改善土壤物理性状, 如可降低土壤体积质量、增加土壤孔隙度等; 增加土壤有机质积累和养分含量; 增加土壤微生物数量, 增强土壤生物和酶活性; 促进作物生长发育, 提高作物产量等^[3-5]。然而, 也有报道表明, 秸秆特别是禾本科秸秆还田的当年, 如果还田条件控制不当, 秸秆腐解过程会对作物生长造成不良影响, 还田当年出现平产或减产^[6], 这可能主要是归因于秸秆不合理的还田方式会引起土壤缺水、缺氮、耕作难、出苗难、烧苗等问题。因此, 为减少秸秆腐解时的不利影响, 在进行秸秆还田时应注意: 秸秆要粉碎, 长度以 10 cm 为宜; 还田量要适中, 翻埋时尽量用全量还田; 边收割边翻埋较利于其腐解; 加强水分管理, 若秸秆直接

还田墒情太差, 应及时灌水; 调节碳氮比, 防止秸秆还田后土壤中氮素不足使得微生物与作物争夺氮素, 造成秸秆腐解缓慢, 作物黄化、苗弱、生长不良^[7]。另外, 要特别注意在进行秸秆还田时施用秸秆腐解剂, 因为秸秆腐解剂中的功能微生物可以分泌大量的纤维素、木质素等酶, 能在较短时间内将作物秸秆腐解成有机肥, 减少秸秆腐解过程带来的不利影响^[8-9]。总之, 秸秆还田对土壤肥力和作物产量的影响是非常复杂的, 它与秸秆的种类、数量、还田的方式、土壤类型以及耕作制度等都存在密切关联^[10]。因此, 只有因地制宜地研究适合各地气候、土壤等特点的秸秆直接还田方式才能进行有效的土壤培肥和揭示多种复杂因子影响的土壤肥力演变规律。

沿淮两岸中低产田区普遍存在土壤物理性状差、调蓄水分能力弱, 肥力水平低、养分投入不平衡和农作物秸秆资源被大量焚烧、堆弃等问题。前人针对以上问题在沿淮地区中低产田上开展的大量土壤培肥试验。其结果表明: 长期进行秸秆和化肥配施可以有效提高土壤的养分水平和作物产量。然而, 对于短时间

①基金项目: 国家科技支撑计划课题项目 (2009BADA6B04、2009BADC4B02) 资助。

* 通讯作者 (huixinli@njau.edu.cn)

作者简介: 马超 (1986—), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态方面的研究。E-mail: machao.0910@163.com

内进行秸秆促腐还田方面的研究还比较缺乏。本研究将秸秆直接还田技术与测土（优化）配方施肥成果结合并添加秸秆腐熟剂，试图探索适合沿淮中低产田的、农民易于接受的秸秆促腐还田技术。并通过研究该秸秆促腐还田技术对土壤有机质、土壤氮磷钾养分、作物产量的影响，阐明该技术对土壤培肥和作物增产的效果，为沿淮中低产田区秸秆资源的合理利用提供科学的依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验在淮河以南的霍邱县王截流（116°32'E，

32°36'N）和淮河以北的固镇县新马桥（117°21'E，33°9'N）同时进行。两地的气候条件相似，均属亚热带过渡性气候，四季分明，雨水充沛，年降水在 610~1 500 mm 之间。最低和最高气温分别是 1 月份平均气温 2℃，7 月份平均气温 28℃，无霜期在 220 天左右，平均积温 5 623℃。日照时数全年平均为 2 251.2 h，6 月、8 月日照时数最多。王截流种植制度为麦稻轮作，新马桥种植制度为麦玉轮作。

1.2 试验材料

供试土壤：王截流为水稻土，新马桥为砂姜黑土，具体土壤性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of tested soils

土壤类型	pH	CEC (cmol/kg)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
水稻土	5.6	13.6	20.4	1.15	114.5	22.8	81.8
砂姜黑土	7.2	19.4	14.0	0.85	82.0	41.1	118.3

供试秸秆：王截流为 2009 年秋季收获的水稻秸秆，新马桥为 2009 年秋季收获的玉米秸秆。

供试小麦品种：王截流为泛麦 4 号，新马桥为皖麦 52。

供试化肥和腐秆剂：氮肥选用尿素（N 46%），磷肥选用磷酸氢二铵（N 18%，P₂O₅ 46%），钾肥选用氯化钾（K₂O 60%）。腐秆剂为北京京圃园生物工程有限公司生产的“圃园牌有机废物发酵菌曲（秸秆腐熟剂）”，该腐秆剂主要包含枯草芽孢杆菌（2.03×10⁸ 个/g）、米曲霉（0.31×10⁸ 个/g）、黑曲霉（0.64×10⁸ 个/g）、白地霉（1.21×10⁸ 个/g）和酿酒酵母（0.27×10⁸ 个/g）5 种有效菌，能产生大量的纤维素酶、半纤维素酶、木质素酶等物质，对秸秆中的木质素、纤维素、半纤维素等成分具有很好的分解能力。

1.3 试验设计

试验于 2009 年 10 月开始，采用随机区组设计。5 个处理：①不施肥（CK）；②单施化肥（F）；③单施化肥基础上加施秸秆（SF）；④单施化肥基础上加施秸秆和腐秆剂（SFD）；⑤单施化肥基础上减施磷钾肥（按 P₂O₅ 和 K₂O 计）20% 后加施秸秆和腐秆剂（SF_{4/5}D）。每处理 3 次重复，小区面积王截流为 30 m²，新马桥为 60 m²。单施化肥处理的施肥方案参照试验点测土（优化）配方施肥结果，王截流：N 225 kg/hm²，P₂O₅ 75 kg/hm²，K₂O 90 kg/hm²；新马桥：N 225 kg/hm²，P₂O₅ 90 kg/hm²，K₂O 90 kg/hm²。秸秆还

田方式为全量粉碎（长度为 10 cm 左右）翻耕还田。腐秆剂按 30 kg/hm² 用量与化肥拌均匀后撒施到铺好秸秆的田内，并立即翻耕。秸秆、磷肥、钾肥作为基肥一次性施入，氮肥基肥施尿素 75 kg/hm²，其余在返青和拔节期追施。

1.4 样品采集及测定

在小麦成熟期，用土钻在各小区内按“S”法采集耕层土壤（0~15 cm）5 个点混合，风干过筛后测定土壤有机质和养分含量。

土壤有机质采用重铬酸钾氧化-外加热法测定，全氮采用半微量凯氏法测定，碱解氮用扩散吸收法测定，速效磷采用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法测定，速效钾用 1 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定，缓效钾用硝酸消煮-火焰光度法测定^[1]。在收获时，采用每小区单收的方法进行小麦产量的测定。

1.5 数据分析

数据统计分析采用 SPSS16.0 软件的 One-Way ANOVA 进行单因素方差分析，并用 Dunken's test 检验其差异显著性水平（P<0.05）。

2 结果与分析

2.1 秸秆促腐还田对沿淮水稻土和砂姜黑土有机质和主要养分含量的影响

2.1.1 对有机质和氮素含量影响 由表 2 可见，经过一季小麦种植后，水稻土上不同处理有机质含量趋

势为: SFD>SF_{4/5}D>SF>F>CK, 进行秸秆还田的处理 SFD、SF_{4/5}D 和 SF 有机质含量比处理 F 分别增加 7.4%、3.3%和 1.0% (表 2), 其中 SFD 与 SF、F、CK 相比提升土壤有机质差异显著 ($P<0.05$); 砂姜黑土

上不同处理有机质含量趋势为: SF>SF_{4/5}D>SFD=F>CK, 进行秸秆还田的处理 SF、SF_{4/5}D 有机质含量比处理 F 分别增加 7.3%、3.1% (表 2), 各处理间均没有显著差异 ($P>0.05$)。

表 2 不同处理对土壤有机质和氮素含量的影响

Table 2 Soil organic matter and nitrogen contents under different treatments

处理	有机质 (g/kg)		全氮 (g/kg)		碱解氮 (mg/kg)	
	水稻土	砂姜黑土	水稻土	砂姜黑土	水稻土	砂姜黑土
CK	20.35 ± 0.77 b	13.20 ± 1.31 a	1.15 ± 0.03 a	0.83 ± 0.04 a	110.9 ± 1.8 a	53.2 ± 1.7 a
F	20.74 ± 0.14 b	14.00 ± 2.09 a	1.14 ± 0.04 a	0.82 ± 0.07 a	117.5 ± 11.0a	58.4 ± 15.0 a
SF	20.95 ± 0.66 b	15.02 ± 2.53 a	1.15 ± 0.03 a	0.87 ± 0.10 a	115.2 ± 4.0 a	60.1 ± 3.2 a
SFD	22.27 ± 0.69 a	14.00 ± 1.73 a	1.19 ± 0.04 a	0.77 ± 0.05 a	120.9 ± 2.0a	56.1 ± 7.1 a
SF _{4/5} D	21.42 ± 0.87 ab	14.43 ± 2.79 a	1.20 ± 0.02 a	0.75 ± 0.04 a	117.1 ± 2.3 a	54.9 ± 6.9 a

注: 同列数据字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平, 下表同。

两种土壤上各处理全氮和碱解氮含量与对照相比有增加趋势, 但差异没有达到显著水平 ($P>0.05$)。其中, 水稻土上土壤全氮含量变化趋势为: SF_{4/5}D>SFD>SF=CK>F, 土壤碱解氮含量趋势为: SFD>F>SF_{4/5}D>SF>CK (表 2); 砂姜黑土上土壤全氮含量趋势为: SF>CK>F>SFD>SF_{4/5}D, 土壤碱解氮含量趋势为: SF>F>SFD>SF_{4/5}D>CK (表 2)。

2.1.2 对土壤磷素和钾素含量影响 表 3 是不同处理对土壤磷、钾素影响的测定结果, 水稻土上各

处理土壤速效磷含量变化趋势为: SFD>F>SF>CK>SF_{4/5}D, 进行秸秆还田的处理只有 SFD 比处理 F 增加 24.5% (表 3), 且 SFD 较其余处理速效磷含量差异均达显著水平 ($P<0.05$)。土壤速效钾和缓效钾含量变化与速效磷的变化趋势相似, 均表现为处理 SFD 为最高, 与处理 F 相比速效钾、缓效钾含量分别增加 30.6% 和 16.0% (表 3)。处理 SFD 速效钾、缓效钾含量与 CK、F 和 SF_{4/5}D 均存在显著差异 ($P<0.05$)。

表 3 不同处理对土壤磷和钾含量的影响

Table 3 Soil phosphorus and potassium contents under different treatments

处理	速效磷 (mg/kg)		速效钾 (mg/kg)		缓效钾 (mg/kg)	
	水稻土	砂姜黑土	水稻土	砂姜黑土	水稻土	砂姜黑土
CK	15.6 ± 0.5 b	27.2 ± 11.3 a	67.5 ± 2.5 b	110.0 ± 18.0 a	490.0 ± 37.75 b	472.6 ± 30.20 a
F	16.5 ± 1.1 b	31.4 ± 12.6 a	68.3 ± 2.9 b	130.0 ± 11.5 a	497.3 ± 39.95 b	482.5 ± 45.83 a
SF	16.35 ± 1.8 b	34.6 ± 18.5 a	75.8 ± 13.8 ab	134.2 ± 5.2 a	550.0 ± 43.30 ab	511.7 ± 70.46 a
SFD	20.56 ± 3.0 a	34.2 ± 21.1 a	89.2 ± 9.5 a	120.0 ± 18.9 a	576.7 ± 34.13 a	490.0 ± 49.81 a
SF _{4/5} D	15.13 ± 1.3 b	29.2 ± 16.5 a	68.3 ± 2.9 b	115.5 ± 12.3 a	488.3 ± 49.39 b	464.1 ± 41.87 a

砂姜黑土上各处理间土壤速效磷、速效钾和缓效钾含量差异均没有达到显著水平。速效磷、速效钾和缓效钾含量的变化趋势分别为: SF>SFD>F>SF_{4/5}D>CK, SF>F>SFD>SF_{4/5}D>CK, SF>SFD>F>CK>SF_{4/5}D (表 3)。

不同处理间土壤全磷、全钾含量差异在两种土壤类型上均无显著差异 (表略)。

2.2 秸秆促腐还田对作物当季产量的影响

不同处理对小麦产量影响的结果见表 4, 不同处

理间小麦产量在两种土壤上均有明显差异。水稻土上小麦产量变化趋势为: SFD>SF>F>SF_{4/5}D>CK, 进行秸秆还田的处理 SFD 和 SF 比处理 F 分别增加 11.7% 和 6.6%, 而 SF_{4/5}D 比 F 减少 2.6%, SFD 与 F、SF_{4/5}D 和 CK 相比产量差异均达到显著水平 ($P<0.05$); 砂姜黑土上小麦产量变化趋势为: SF>F>SFD>SF_{4/5}D>CK, 进行秸秆还田的处理除处理 SF 比处理 F 增加 13.0%, 处理 SFD 和 SF_{4/5}D 分别比 F 下降 1.0%和 7.6%, SF 与其余处理相比均存在显著差异 ($P<0.05$)。

表 4 不同处理对小麦产量的影响 (kg/hm²)
Table 4 Wheat yields under different treatments

处理	水稻土	砂姜黑土
CK	5 888.3±445.8 c	6 165.5±518.1 c
F	6 604.1±318.0 bc	7 975.7±266.7 b
SF	7 039.4±469.9 ab	9 008.9±352.1 a
SFD	7 378.3±427.5 a	7 895.5±392.5 b
SF _{4/5} D	6 430.6±219.9 bc	7 369.4±259.8 b

3 讨论

秸秆还田结合配方施肥在两种土壤上均能有效提高土壤有机质含量；但添加腐秆剂的效果在两种土壤类型上有所差异，在水稻土上表现明显；减施 20% 磷钾肥（按 P₂O₅ 和 K₂O 计）后其对土壤有机质的提升效果较不减施处理有所下降，但与单进行优化配方施肥相比有机质含量略有增加。由于单施无机肥土壤中的有机质主要由植株地上部残茬和根系的腐解产物所贡献，如果能连续增施氮磷钾化肥，使土壤养分供应充足，作物则会产生较多根残茬，从而能够维持土壤有机质水平^[12]。在施无机肥的基础上进行秸秆还田，能在不增施化学肥料的情况下缓解土壤有机质总量被消耗的问题^[13]。在水稻土上，添加腐秆剂的处理较不添加的处理土壤有机质含量显著提高，其中不减施磷钾肥的处理较其余处理还表现出显著差异（ $P<0.05$ ），可能是由于秸秆自身腐解缓慢而使得其效果也表现迟缓^[14]，而添加腐秆剂加速秸秆腐解而推进了其效果的显现。

土壤氮素总量是土壤氮素矿化与积累平衡的结果，施肥方式是影响土壤氮素水平的重要因素。本研究结果显示：秸秆还田结合优化配方施肥能够提升土壤氮素水平，但与单进行优化配方施肥相比效果并不明显，这可能是因为无机肥本身对维持土壤全氮、速效氮含量也有很好的效果^[15]；添加腐秆剂的作用还是水稻土优于砂姜黑土；减施 20% 磷钾肥（按 P₂O₅ 和 K₂O 计）后其对土壤氮素的贡献较不减施处理有所下降，而与单进行优化配方施肥处理相比无显著差异。长期施入氮肥或复合肥所增加的土壤无机氮易发生硝酸盐淋失和氨挥发^[16-18]；而秸秆还田后带入的有机氮除部分供给当季作物外，大部分留在土壤中。另外，由于秸秆对微生物生长的促进而固持无机氮，使土壤氮素得到更新和补偿^[19]，表明秸秆还田结合优化配方施肥是提高土壤有机氮和氮储量的有效措施之一。然而，进行秸秆还田的处理较单施化肥处理差异均未达到显著水平，可能归因于秸秆的 C/N 比微生物的高，

秸秆施入土壤后会刺激微生物对土壤氮素的固定^[20-21]。

由于重施一次磷肥其后效至少可以持续十年以上^[22]，所以目前普遍认为土壤磷素含量主要决定于磷肥的施入量，但也有研究指出秸秆还田可以增加土壤磷素下移量和下移距离，通过减少磷素被土壤固定的数量来提升土壤磷素含量^[23]。本研究也得到了相似结论：秸秆还田结合优化配方施肥能够有效增加土壤速效磷含量。同时，秸秆还田结合优化配方施肥还能够有效增加土壤速效钾和缓效钾的含量，这可能是因为秸秆中富含的水溶性钾，能够在秸秆还田后快速提高土壤有效钾水平^[24]。秸秆与化肥配施后添加腐秆剂处理的速效磷含量在水稻土上与单进行优化配方施肥处理相比差异达到显著水平（ $P<0.05$ ），可能是由于腐秆剂功能菌加速秸秆腐解、促进秸秆中有机态磷钾分解转换为土壤矿物质态磷钾，而对于砂姜黑土两者差异不显著则应归咎于腐秆剂没有发挥促腐作用。减施 20% 磷钾肥（按 P₂O₅ 和 K₂O 计）的处理与不减施处理相比土壤磷、钾含量差异显著（ $P<0.05$ ），但与单进行优化配方施肥相比下降并不明显，这说明秸秆促腐还田时适当减施磷钾肥不会对土壤磷、钾素水平造成明显的影响。

作物产量是农业系统管理水平与土壤生产力的综合反映，也是农田质量的重要评价指标。本研究结果表明，秸秆还田结合优化配方施肥能够显著提高小麦产量，其与单进行优化配方施肥处理相比差异达到显著水平（ $P<0.05$ ）；添加腐秆剂处理的效果在水稻土比在砂姜黑土上表现明显；减施 20% 磷钾肥（按 P₂O₅ 和 K₂O 计）的处理与不减施处理相比小麦产量下降显著（ $P<0.05$ ），但与单进行优化配方施肥处理相比没有明显降低。秸秆还田与化肥配施有增产稳产的效果是许多长期试验的共同结论，主要是因为合理的秸秆还田方式可以提高土壤养分含量、改善土壤物理性状，优化作物根系生态环境，为作物高产稳产提供了良好的土壤环境^[13, 25-27]。秸秆还田同时若添加的腐秆剂种类恰当会促进其增产稳产的效果提前显现，否则会导致秸秆在田间自然腐解受阻使得产量下降。减施作物生长必需的无机肥料（磷钾肥）投入会造成产量下降，这是由于减施会造成作物生长脱肥或受低养分因子的限制。然而，秸秆促腐还田可以弥补减施磷钾肥给作物生长造成的养分供应不足，因为秸秆还田后可以有效提高土壤速效磷钾含量供作物生长需要，这与上文结果统一。

添加腐秆剂处理的效果在两种土壤上表现不一

致,在水稻土上其促进秸秆还田培肥和增产效果明显,但对于砂姜黑土却出现阻碍秸秆还田效果的现象。这表明腐秆剂作用的发挥与否与其施用的土壤环境有密切关系。因为本研究所用腐秆剂的主要成分是一种能强力分解秸秆中纤维素、半纤维素、木质素等成分的复合微生物,而微生物是对其生存环境如温度、湿度、pH、养分条件等有严格要求的,但砂姜黑土是一种以旱、涝、渍、瘦、僵为主要特点的低产土壤^[28],其环境可能不利于腐秆剂功能的发挥。

4 结论

秸秆还田并添加腐秆剂且与化肥配施的秸秆促腐还田方式能够有效提高土壤肥力和作物产量。但需要特别注意的是:所添加腐秆剂品种需要结合地区土壤、气候特点进行严格的筛选,否则添加腐秆剂可能起不到促进秸秆还田的效果。另外,本研究还得出秸秆与化肥配施并添加腐秆剂的秸秆促腐还田方式可以将磷钾肥(按 P_2O_5 和 K_2O 计)减施为单施化肥的 80% 而不影响其培肥和增产效果。上述结论对探索适合沿淮中低产田的秸秆促腐还田方式有一定的积极意义。今后有必要延续和完善本田间试验,对秸秆还田中不同腐秆剂和化肥配施量的效果及其作用机理作进一步探索,以更好地利用农作物秸秆服务于农业生产。

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. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-179
- [2] 刘天学,纪秀娥. 焚烧秸秆对土壤有机质和微生物的影响研究. 土壤, 2003, 35(4): 347-348
- [3] 钱宏兵,韩春贵,钱存进,严桂珠. 稻麦秸秆直接还田技术的研究. 土壤肥料, 1998(2): 26-28
- [4] 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. 土壤, 2007, 39(5): 782-786
- [5] Bakht J, Shafi M, Jan MT, Shah Z. Influence of crop residue management, cropping system and N fertilizer on soil N and C dynamics and sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) production. Soil and Tillage Research, 2009, 104: 233-240
- [6] 王敏强, 闻杰. 玉米秸秆还田技术及易出现的问题. 现代农业科技, 2008(8): 151
- [7] 张淑文. 关于秸秆还田的思考. 现代农业科技, 2009(22): 305
- [8] 胡立峰, 裴宝琦, 翟学军. 论秸秆功能演化及秸秆腐解剂效应. 中国农学通报, 2009, 193(25): 134-138
- [9] 张电学, 韩志卿, 刘微, 高书国, 侯东军, 李国舫, 常连生. 不同促腐条件下秸秆直接还田对土壤养分时空动态变化的影响. 土壤通报, 2005, 36(3): 360-364
- [10] 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. 水土保持学报, 2006, 20(6): 141-144
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [12] 赵丽娟, 韩晓增, 王守宇, 刘鸿翔, 李海波, 苗淑杰, 王凤. 黑土长期施肥及养分循环再利用的作物产量及土壤肥力变化IV. 有机碳组分的变化. 应用生态学报, 2006, 17(5): 817-821
- [13] 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. 土壤学报, 2009, 46(6): 1102-1109
- [14] 李辉信, 胡锋, 沈其荣, 陈小云, 仓龙, 王霞. 接种蚯蚓对秸秆还田土壤碳、氮动态和作物产量的影响. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1637-1641
- [15] 夏晓亮, 石祖梁, 荆奇, 戴廷波, 姜东, 曹卫星. 氮肥运筹对稻茬小麦土壤硝态氮含量时空分布和氮素利用的影响. 土壤学报, 2010, 47(3): 490-496
- [16] 周静, 崔键, 王霞. 红壤不同含水量对尿素氮挥发的影响. 土壤, 2008, 40(6): 930-933
- [17] 李菊梅, 徐明岗, 秦道珠, 李冬初, 宝川靖和, 八木一行. 有机肥无机肥配施对稻田氮挥发和水稻产量的影响. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 51-56
- [18] Basso B, Ritchie JT. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, 108: 329-341
- [19] Tanaka H, Kyaw K, Toyota K, Motobayashi T. Influence of application of rice straw, farmyard manure, and municipal biowastes on nitrogen fixation, soil microbial biomass N, and mineral N in a model paddy microcosm. Biology and Fertility of Soils, 2006, 42: 501-505
- [20] Burger M, Jackson LE. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification rates in organic and conventional cropping systems. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35: 29-36
- [21] 唐玉霞, 孟春香, 贾树龙, 王惠敏, 刘巧玲. 不同碳氮比肥料组合对肥料氮生物固定、释放及小麦生长的影响. 中国生态农业学报, 2007, 58(2): 37-40
- [22] 林继雄, 林葆. 磷肥后效与利用率的定位试验. 土壤肥料, 1995(6): 1-5
- [23] 王经权, 周健民, 钦绳武, 顾益初. 三种施肥模式对石灰性土壤培肥的影响. 土壤学报, 2002, 39(6): 844-852

- [24] 李秋梅, 陈新平, 张福锁, Romheld V. 冬小麦-夏玉米轮作体系中磷钾平衡的研究. 植物营养与肥科学报, 2002, 8(2): 152-156
- [25] 邢素丽, 韩宝文, 刘孟朝, 徐明岗. 有机无机配施对土壤养分环境及小麦增产稳定性的影响. 农业环境科学学报, 2010, 29(3): 135-140
- [26] Saleque MA, Abedin MJ, Bhuiyan NI, Zaman SK, Panaullah GM. Long-term effects of inorganic and organic fertilizer sources on yield and nutrient accumulation of lowland rice. Field Crops Research, 2004, 86: 53-65
- [27] Bationo A, Christianson CB, Klajic MC. The effect of crop residue and fertilizer use on pearl millet yields in Niger. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1993, 34: 251-258
- [28] 宋瑞玲. 砂姜黑土的物理性质与肥力水平. 土壤, 1994, 26(4): 209-211

Effects of Returning Rice Straw into Field on Soil Nutrients and Wheat Yields Under Promoting Decay Condition

MA Chao^{1,2}, ZHOU Jing², ZHENG Xue-bo², LIU Man-qiang¹, LI Hui-xin¹, JIANG Zhong-shan³, WANG Wei-guo³

(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; 3 Huoqiu Crop Production Development Bureau, Huoqiu, Anhui 237400, China)

Abstract: A field experiment was conducted at two sites (Huoqiu and Guzhen county) along Huaihe river to study the effects of returning rice straw on the soil nutrients and wheat yields under different promoting decay conditions. Treatments were: (1) only inorganic fertilizer (F), (2) combining rice straw and inorganic fertilizer (SF), (3) combining rice straw, residues decay promoting microorganisms and inorganic fertilizer (SFD), (4) combining rice straw, residues decay promoting microorganisms and less inorganic fertilizer (SF_{4/5}D), and (5) no fertilizer control (CK). The results obtained were listed as follows: (1) The treatment of SFD could significantly increase wheat yields in Huoqiu experimental site ($P < 0.05$) compared with the treatment of F, while it was SF, but not SDF had the similar effects in Guzhen experimental site. (2) In addition, compared with the treatment of F, the treatment of SFD could significantly increase soil organic matter, available phosphorus ($P < 0.05$) and so on in Huoqiu experimental site. (3) When reduced the content of phosphorus and potassium fertilizer, the effect of the treatment which combining rice straw, residues decay promoting microorganisms and less inorganic fertilizer (SF_{4/5}D) did not decrease significantly in two experimental sites compared with the treatment of F. In conclusion, returning rice straw into field under promoting condition could increase soil nutrients and wheat yields effectively, when the residues decay promoting microorganisms choose proper. And even if reducing the contents of phosphorus and potassium fertilizer to 80%, the measure still had yield-increasing effects.

Key words: Returning straw into field, Residues decay promoting microorganisms, Huaihe river region, Soil nutrients, Wheat yields