DOI:10.11766/trxb201205040163

秸秆促腐还田对土壤养分及活性有机碳的影响*

马　超[1,2]　周　静[1†]　刘满强[2]　郑学博[1]　崔　键[1]　李辉信[2]　康炳龙[3]

(1 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 霍邱县宋店乡农业综合服务站,安徽霍邱　237400)

摘　要　通过 2 年的小麦-玉米轮作田间定位试验,设置 5 个处理:不施肥(CK)、单施化肥(F)、化肥 + 秸秆(FS)、化肥 + 秸秆 + 腐秆剂(FSD)、磷钾肥减施 20%(按 P_2O_5 和 K_2O 计,与 F 比较) + 秸秆 + 腐秆剂($F_{4/5}SD$),通过分析作物收获后土壤耕层养分、活性有机碳和微生物生物量碳含量,计算土壤不同形态碳素有效率和碳库管理指数等,探讨秸秆促腐还田对沿淮砂姜黑土土壤养分和活性有机碳的影响。结果表明:(1)与单施化肥处理相比,常规秸秆还田处理土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量分别增加 13.0%、4.6% 和 10.7%,土壤活性有机碳有效率增加 12.0% 和 11.1%,土壤碳库管理指数提高 30.6%;(2)秸秆促腐还田处理土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量分别增加 17.4%、40.5% 和 12.4%,土壤活性有机碳、活性有机碳有效率和可溶性有机碳分别增加 12.0%、9.5% 和 51.3%,土壤碳库管理指数提高了 102.3%;(3)土壤碳库管理指数与土壤养分含量、土壤碳素有效率等的相关性较土壤总有机碳含量有显著提高。可见,秸秆促腐还田较常规秸秆还田更利于提高沿淮砂姜黑土土壤养分含量、有机碳中活性组分含量及其有效率和土壤碳库管理指数;即使减施磷、钾肥 20%,该措施的增肥和培土效果也不会明显下降。

关键词　秸秆还田;腐秆剂;土壤养分;活性有机碳;碳库管理指数;砂姜黑土

中图分类号　S153.6　　**文献标识码**　A

沿淮地区是我国主要粮食产区之一,但由于气候多变、灾害性天气频发及土壤贫瘠等原因,区域土地生产力低,60% 为中低产田区[1-2]。如何采取有效措施提高沿淮地区土壤肥力、增强该区抗灾能力,进而提高区域农田生产力与粮食总产量已成为农业工作者关注的焦点问题。

土壤有机碳与土壤的物理、化学和生物学性质紧密相关,是反应土壤肥力的重要指标[3]。但由于土壤有机碳含量只是一个矿化分解和合成的平衡结果,不能很好地反应土壤有机碳的质量,当土壤有机碳含量超过一定数量时,其与土壤肥力的关系并不呈正相关关系[4]。Blair 等[5]将土壤有机碳划分为活性和惰性两部分,并指出活性有机碳对农业生产措施反应灵敏,而且与土壤潜在生产力密切相关,而惰性有机碳只会影响土壤性质。可见,研究某项培肥措施下土壤活性有机碳含量的变化情况,对评价该措施对土壤肥力提升的贡献有重要意义。

农作物秸秆作为一种重要的有机肥源,将其还田利用一直是传统农业生产中培肥土壤的主要方式。然而,目前沿淮地区的秸秆利用率仅 45%,大量的秸秆被丢弃、焚烧,这不仅造成了资源的浪费,还使得土壤表层有机碳下降和大气环境恶化[6-7]。大量研究表明,秸秆还田可以有效增加土壤养分和土壤活性有机碳的含量[8-9],但同时秸秆进入土壤后也会引起碳氮比失调[10]、有机酸积累[11]和耕作困难等问题,从而导致秸秆还田应用一直难以推广。近来,一些学者针对造成秸秆还田难以推广的主要问题提出了秸秆促腐还田培肥模式,即通过配施氮肥和添加腐秆剂使秸秆还田后快速腐解,在较短时间内转化为有机肥料[12]。已有研究证实,秸秆促腐还田可以加速秸秆腐解进程、提高土壤微生物活性、改善土壤养分状况和增加作物产量[13-15]。然

* 国家科技支撑计划项目(2011BAD41B01, 2009BADA6B04, 2009BADC4B02)资助

† 通讯作者, E-mail: zhoujing@issas.ac.cn
作者简介:马　超(1986—),男,博士研究生,主要研究方向土壤生态系统碳循环。E-mail: machao.0910@163.com

收稿日期:2012-05-04;收到修改稿日期:2012-08-05

而有关秸秆促腐还田对土壤活性有机碳影响的研究还鲜见报道。

本研究试图通过布置在沿淮砂姜黑土区的田间定位试验,探讨秸秆促腐还田对土壤养分及活性有机碳的影响,旨在为该地区秸秆资源的合理利用和土壤培肥提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验区位于安徽省固镇县新马桥原种场(117°21′E, 33°9′N)。该区地处淮北平原南部,属暖温带半湿润季风气候,年均气温 15.9℃,年降雨量为610 ~ 1 500 mm,无霜期 220 d 左右。试验田土壤为砂姜黑土,耕层土壤有机质 14.0 g kg^{-1},全氮 0.85 g kg^{-1},碱解氮 82.0 mg kg^{-1},有效磷 41.1 mg kg^{-1},速效钾 118.3 mg kg^{-1},pH7.2(土水比 1∶2.5)。耕作制度为冬小麦-夏玉米轮作。

1.2　供试材料

供试小麦品种选用皖麦 52,播种量为 187.5 kg hm^{-2},行距 23 cm;玉米选用宏大 8 号,种植密度 6.75×10^4株 hm^{-2},株距 24.7 cm,行距 60 cm。

供试秸秆为试验田上茬收获的玉米秸秆(C/N 为 51,其中纤维素、半纤维素和木质素含量分别为 38.7%、21.7% 和 19.3%)或小麦秸秆(C/N 为 83,其中纤维素、半纤维素和木质素含量分别为 36.3%、31.8% 和 20.7%)。

氮肥选用尿素(N 46%),磷肥选用磷酸氢二铵(N 18%,P_2O_5 46%),钾肥选用氯化钾(K_2O 60%)。腐秆剂由上海联业生物技术有限公司提供,其主要成分为枯草芽孢杆菌(2.21×10^8cells g^{-1})、嗜热脂肪地芽孢杆菌 0.0054×10^8 cells g^{-1})、青天链霉菌(0.17×10^8 cells g^{-1})和白链霉菌(2.76×10^8 cells g^{-1})。

1.3　试验设计与田间管理

试验开始于 2009 年 10 月,共包括 5 个处理:(1)不施肥(CK);(2)单施化肥(F);(3)化肥 + 秸秆(FS);(4)化肥 + 秸秆 + 腐秆剂(FSD);(5)减施 20% 磷钾肥(按 P_2O_5 和 K_2O 计,与 F 处理相比) + 秸秆 + 腐秆剂($F_{4/5}SD$)。小区面积为 60 m^2,随机区组排列,每处理 3 次重复。

氮磷钾化肥在小麦季的施用量为 N 225 kg hm^{-2},P_2O_5 90 kg hm^{-2},K_2O 90 kg hm^{-2};玉米季为 N 270 kg hm^{-2},P_2O_5 60 kg hm^{-2},K_2O 90 kg hm^{-2}。秸秆还田方式为全量(上茬作物收获的全部秸秆)粉碎(长度为 10 cm 左右)翻耕还田。腐秆剂使用参照产品说明,按 30 kg hm^{-2}用量与泥土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,氮肥基肥施纯 N135 kg hm^{-2}(小麦季)或 162 kg hm^{-2}(玉米季),其余在返青和拔节期追施。其他田间管理按当地常规进行。

1.4　样品采集与测定

2011 年 6 月,小麦收获后,用土钻在各小区内按“S”法采集耕层土壤(0 ~ 15 cm)7 个点混合,一部分风干过筛用于测定土壤总有机碳、活性有机碳和养分等指标,一部分保存于 4℃ 冰箱中用于测定土壤微生物生物量碳等指标。

土壤活性有机碳测定采用 333 mmol $L^{-1}KMnO_4$ 高锰酸钾氧化法,土壤非活性有机碳 = 总有机碳-活性有机碳[16];土壤微生物生物量碳测定采用氯仿熏蒸法[17];土壤可溶性有机碳测定采用水提取、过滤方法[18];土壤养分测定采用常规分析方法[19]。

1.5　数据计算和分析

碳素有效率和碳库管理指数[8]:活性有机碳有效率 A_{LC}(%) = 活性有机碳/总碳 ×100;微生物生物量碳有效率 A_{MC}(%) = 微生物生物量碳/总碳 ×100;可溶性碳有效率 A_{DC}(%) = 可溶性碳/总碳 ×100;

碳库指数(CPI) = 样品总有机碳/对照总有机碳;碳库活度 (L) = 活性有机碳/非活性有机碳;碳库活度指数 (LI) = 样品碳库活度/对照土壤碳库活度;碳库管理指数 (CPMI) = CPI × LI ×100。

试验数据采用 Microsoft Excel 2003 整理;不同处理之间各指标的差异性和相关性分析分别采用 SPSS 16.0 软件的单因素方差分析(One-Way ANOVA)和皮尔逊双尾相关性分析(Pearson 2-tails test of significance)进行;图形制作采用 Origin 8.0 进行。

2　结　果

2.1　秸秆促腐还田对土壤养分的影响

常规秸秆还田处理 FS 土壤养分含量与单施化肥 F 处理无显著差异,而秸秆促腐还田处理显著增加了土壤碱解氮、有效磷和速效钾的含量(表 1)。与处理 F 相比,处理 FSD 和 $F_{4/5}SD$ 的碱解氮含量分别增加 17.4% 和 18.9%,处理 FSD 的速效磷含量增加 40.5%,处理 FSD 的速效钾含量增加 12.4%,差异均达显著水平。

2.2 秸秆促腐还田对土壤不同形态碳素及活性碳有效率的影响

不同处理对土壤不同形态碳素及活性有机碳有效率的影响见表 2。与处理 F 相比,常规秸秆还田处理 FS 土壤总有机碳、活性有机碳、微生物生物量碳、可溶性有机碳含量及活性有机碳有效率均无显著差异,而秸秆促腐还田处理明显增加了土壤活性有机碳、微生物生物量碳、可溶性碳和活性有机碳有效率。其中处理 $F_{4/5}$SD 和 FSD 较处理 F 土壤活性有机碳分别增加 13.3% 和 12.0%;处理 $F_{4/5}$SD 较处理 F 微生物生物量碳增加 37.2% ($p<0.05$);处理 FSD 较处理 F 可溶性有机碳增加 51.3%;处理 FSD 和 $F_{4/5}$SD 较处理 F 活性有机碳有效率分别增加 9.5% 和 22.5% ($p<0.05$)。

表 1 不同处理对土壤养分含量的影响

Table 2 Effects of different treatments on soil nutrient contents

处理 Treatment	全氮 TotalN ($g\ kg^{-1}$)	全磷 TotalP ($g\ kg^{-1}$)	全钾 TotalK ($g\ kg^{-1}$)	碱解氮 Alkalystic N ($mg\ kg^{-1}$)	有效磷 AvailableP ($mg\ kg^{-1}$)	速效钾 AvailableK ($mg\ kg^{-1}$)
CK	0.89 ± 0.05a	0.45 ± 0.03b	13.1 ± 1.1a	80.2 ± 0.2c	20.4 ± 0.1c	97.5 ± 3.5c
F	0.92 ± 0.06a	0.54 ± 0.03ab	13.7 ± 0.5a	83.7 ± 5.2bc	40.5 ± 11.0bc	129.8 ± 5.3b
FS	0.94 ± 0.01a	0.51 ± 0.03ab	13.7 ± 0.3a	94.6 ± 7.3ab	44.8 ± 8.5ab	135.8 ± 3.8ab
FSD	0.99 ± 0.05a	0.57 ± 0.08a	13.5 ± 0.7a	98.3 ± 7.8a	56.9 ± 13.0a	145.8 ± 6.3a
$F_{4/5}$SD	0.95 ± 0.04a	0.56 ± 0.02a	13.4 ± 0.3a	99.5 ± 4.2a	33.5 ± 1.2bc	128.8 ± 5.3b

注:平均值 ± 标准差($n=3$),同列不同字母表示处理间差异显著($p<0.05$),下同 Note: The data are means plus standard deviation ($n=3$). Different letters in the same column mean significant difference between treatments at $p<0.05$ using Duncan's test. The same below

表 2 不同处理对土壤总有机碳、活性有机碳、微生物生物量碳、可溶性有机碳及活性有机碳有效率的影响

Table 2 Effects of different treatments on soil total organic carbon, liable organic carbon, microbial biomass carbon, soluble organic carbon and A_{LC}

处理 Treatment	总有机碳 Total organic C ($g\ kg^{-1}$)	活性有机碳 Labile organic C ($g\ kg^{-1}$)	微生物生物量碳 Microbial biomass C ($mg\ kg^{-1}$)	可溶性有机碳 Solubleorganic C ($mg\ kg^{-1}$)	活性有机碳有效率 A_{LC}(%)
CK	10.7 ± 0.3a	7.6 ± 0.1a ×	34.3 ± 7.1b	23.6 ± 11.1ab	71.9 ± 1.5b
F	11.8 ± 1.4a	8.3 ± 0.4a ×	98.3 ± 1.6ab	23.4 ± 4.0ab	66.9 ± 2.3b ×
FS	11.6 ± 0.3a ×	8.5 ± 0.7a ×	84.4 ± 12.5ab	15.8 ± 0.2b	73.2 ± 7.4ab
FSD	11.7 ± 0.8a	9.3 ± 0.9a	84.8 ± 1.8ab	35.4 ± 3.0a	81.9 ± 1.8a
$F_{4/5}$SD	12.6 ± 1.7a	9.4 ± 1.5a	134.9 ± 10.1a	19.0 ± 0.6ab	74.3 ± 2.1ab ×

2.3 秸秆促腐还田对土壤碳库管理指数的影响

不同处理的碳库活度管理指数(LI)、碳库指数(CPI)和碳库管理指数(CPMI)如图 1 所示。与单施化肥处理 F 相比,秸秆还田处理 FSD、$F_{4/5}$SD 和 FS 的 LI 值分别增加 124.7%、52.0% 和 42.5%,CPMI 分别增加 102.3%、63.3% 和 30.6%。且处理 FSD 与处理 F 间的 LI 值、CPMI 值及处理 $F_{4/5}$SD 与处理 F 间的 CMPI 值间的差异均达到显著水平($p<0.05$)。

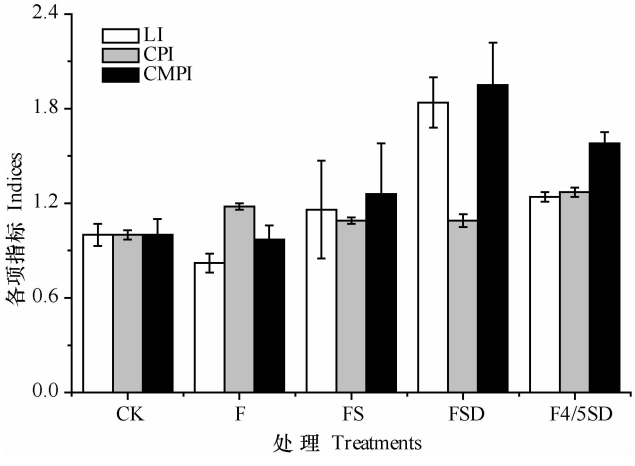

图 1 不同处理各项指数的变化

Fig. 1 Changes in various indices of the different treatments

2.4 土壤不同形态碳素有效率、碳库管理指数与土壤肥力的相关性

不同处理土壤总有机碳、活性有机碳有效率、微生物生物量碳有效率、可溶性有机碳有效率、碳库管理指数与土壤肥力指标的相关性分析结果见表 3。土壤总有机碳与全磷、碱解氮和活性有机碳

之间显著(或极显著)相关,相关系数分别为 0.566*、0.573*和 0.770**;土壤活性有机碳有效率与全氮、全钾、碱解氮和活性有机碳之间呈显著相关,相关系数分别为 0.690*、0.562*、0.653*和 0.553*;土壤微生物生物量碳有效率与碱解氮、速效钾、微生物生物量碳和活性有机碳之间呈显著(或极显著)相关,相关系数分别为 0.798*、0.599*、0.953**和 0.658*;土壤可溶性有机碳有效率与可溶性有机碳和微生物生物量碳显著(或极显著)相关,相关系数分别为 0.546*和 0.976**;土壤碳库管理指数与全氮、碱解氮、速效钾、微生物生物量碳和活性有机碳显著(或极显著)相关,相关系数分别为 0.672*、0.900**、0.573*、0.665*和 0.761*。

表 3　碳素有效率、碳库管理指数与土壤肥力的相关性

Table 3　Relationships of soil fertility with A_{LC}, A_{MC}, A_{DC} and CPMI

项目 Item	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	碱解氮 Alkalystic N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	微生物生物量碳 Microbial biomass C	可溶性有机碳 Dissolved organic C	活性有机碳 Labile organic C	总有机碳 Total organic C
总有机碳 Total organic C	0.445	0.566*	-0.020	0.574*	-0.032	0.285	0.422	0.231	0.770**	1.000
活性有机碳有效率 A_{LC}	0.690*	0.005	-0.562*	0.653*	0.459	0.419	0.158	0.350	0.553*	-0.108
微生物生物量碳有效率 A_{MC}	0.463	0.475	0.312	0.478	0.304	0.599*	0.953**	-0.534	0.658*	0.440
可溶性有机碳有效率 A_{DC}	-0.178	0.088	-0.417	-0.144	0.343	-0.029	-0.546*	0.976**	0.298	0.022
碳库管理指数 CPMI	0.672*	0.248	-0.187	0.900**	0.512	0.573*	0.665*	0.362	0.761*	0.217

注:*, **分别表示显著($p<0.05$)和极显著($p<0.01$)相关　Note: * and ** means significant correlation at the 5% and 1% levels, respectively

3　讨　论

土壤养分的暂存与矿化释放主要是靠土壤微生物的作用。一方面,微生物本身含有一定量的碳、氮和磷,可以看成是有效养分的储备库;另一方面,土壤微生物参与土壤碳、氮、磷等元素的循环过程和土壤矿物的矿化过程[20-21]。前人研究表明秸秆还田可以通过诱导微生物固氮,避免化学氮肥进入土壤后迅速转化成 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 而发生氨挥发和硝酸盐淋失[22];还可以通过促进微生物溶磷作用,增加化学磷肥的有效性[23];以及通过释放自身富含的水溶性钾,提高土壤速效钾含量[24]。本研究中添加腐秆剂的秸秆促腐还田处理较单施化肥处理显著增加了土壤碱解氮、有效磷和速效钾等的含量,而进行常规秸秆还田的处理对土壤养分的提升作用并不明显。因为秸秆的田间腐解是以微生物作用为主导的过程,而砂姜黑土土质黏、通透性差的特点使得土著微生物活性较低[25],使得秸秆在田间的腐解进程和培肥效果受到抑制。秸秆促腐还田处理却可以利用腐秆剂中富含的功能微生物,增加土壤微生物群落的功能多样性和活性[13],加快还田秸秆腐解进程[12],最终实现对土壤养分含量的有效提升。

徐明岗等[16]认为土壤活性有机碳、微生物生物量碳和可溶性有机碳与土壤总有机碳相比可以更加客观地反映土壤质量和土壤肥力状况。另有一些学者也提出土壤活性有机碳有效率、微生物生物量碳有效率等作为土壤碳库质量的敏感因子,可以更好地指示土壤碳素有效性和土壤有机碳活性[26-28]。本研究也有类似结果,从而进一步证实土壤活性有机碳组分及其有效率能够有效指示农业生产措施的效果。本研究结果还显示,与单施化肥处理相比,添加腐秆剂的秸秆促腐还田处理有明显增加土壤活性有机碳、微生物生物量碳、可溶性有机碳含量和活性有机碳有效率的趋势,而常规秸秆还田却没有。造成上述结果的可能原因有:(1)砂姜黑土黏、闭的土壤环境不利于土著微生物进行秸

秆降解[24]；(2)腐秆剂中的功能微生物进入土壤后，能分泌大量降解纤维素、半纤维素和木质素的酶，从而加速秸秆碳向土壤碳的转化[29-31]。由于田间条件下影响结果差异因素的复杂性，部分土壤活性碳、微生物生物量碳和可溶性碳含量增加的趋势未达到统计学显著水平，但是也能在一定程度上反映处理的效果[32]。

由于土壤背景值高和自然土壤分异性大，使得整个土壤碳库的微小变化很难发现，从而探求土壤全碳变化的敏感指示因子很有必要。Blair 等[5]提出了土壤碳库变化的定量指标——土壤碳库管理指数。因为该指标与土壤有效养分、土壤物理性状和耕作措施等均有密切关系，从而正在成为土壤质量和土壤管理评价指标[16]。王栋等[33]在江西红壤上的试验结果表明，秸秆还田可以有效提高土壤碳库管理指数，本研究也有相似结果，这可能是因为秸秆还田后增加了土壤中活性有机碳组分[34]。本研究结果也发现与常规秸秆还田相比，秸秆促腐还田更能提高土壤碳库指数，这可能与秸秆促腐还田增加了土壤活性有机碳有效率、土壤微生物生物量碳有效率和土壤可溶性有机碳及其有效率有关。此外，本研究中单施化肥处理与不施肥对照相比显著降低了土壤碳库管理指数，则主要咎于化学肥料的施用增加了土壤中难氧化态碳的含量，导致土壤有机碳老化[35]。

本研究中的相关性分析表明：与土壤有机碳相比，土壤养分中与土壤活性有机碳有效率、微生物生物量碳有效率、可溶性有机碳有效率和碳库管理指数呈显著(或极显著)相关的指标有所增加，其中与土壤碳库管理指数相关的指标最多。这与徐明岗等[16]的研究结果一致，说明土壤碳库管理指数较土壤有机碳可以更好地反映土壤质量、肥力状况和耕作措施的影响。

4 结 论

秸秆促腐还田较常规秸秆还田措施更利于提高沿淮砂姜黑土田的土壤养分含量、土壤有机碳中活性组分含量、土壤有机碳中活性组分有效率和土壤碳库管理指数；即使减施化学磷肥、钾肥 20% 后，该促腐还田措施对土壤有机碳中活性组分含量、有效率和土壤碳库管理指数的提升作用也不会明显减弱；土壤碳库管理指数与土壤总有机碳含量相比可以更好地反映土壤质量、肥力状况和土壤培肥措施的效果。以上结论对于指导沿淮砂姜黑土区土壤肥力的提升和秸秆资源的利用有一定的积极意义。今后有必要延续和完善本田间试验，对腐秆剂和配施化肥的最佳用量作进一步探索，以更好地促进秸秆促腐还田技术的推广应用。

参 考 文 献

[1] 詹其厚，袁朝良，张效朴. 有机物料对砂姜黑土的改良效应及其机制. 土壤学报，2003，40(3)：420—425. Zhan Q H, Yuan C L, Zhang X P. Ameliorative effect and mechanism of organic materials on vertisols (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(3): 420—425

[2] 夏建国，魏朝富，朱钟麟，等. 中国中低产田土改造研究综述. 中国农学通报，2005，21(4)：212—218. Xia J G, Wei C F, Zhu Z L, et al. Research review on the improvement of low-medium yielding farmlands in China(In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(4): 212—218

[3] 张勇，庞学勇，包维楷，等. 土壤有机质及其研究方法综述. 世界科技研究与发展，2005，27(5)：72—78. Zhang Y, Pang X Y, Bao W K, et al. A review of soil organic matter and its research methods (In Chinese). World Sci-Tech Research and Development, 2005, 27(5): 72—78

[4] 沈宏，曹志洪，徐志红. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响. 土壤学报，2000，37(2)：166—173. Shen H, Cao Z H, Xu Z H. Effects of fertilization on different carbon fractions and carbon pool management index in soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(2): 166—173

[5] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. Crop and Pasture Science, 1995, 46(7): 1459—1466

[6] 黄兆琴，胡林潮，史明，等. 水稻秸秆燃烧对土壤有机质组成的影响研究. 土壤学报，2012，49(1)：60—67. Huang Z Q, Hu L C, Shi M, et al. Changes in composition of soil organic matter after burning of straw (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2012, 49(1): 60—67

[7] 曹国良，张小曳，王丹，等. 中国大陆生物质燃烧排放的污染物清单. 中国环境科学，2005，25(4)：389—393. Cao G L, Zhang X Y, Wang D, et al. Inventory of atmospheric pollutants discharged from biomass burning in China continent (In Chinese). China Environmental Science, 2005, 25(4): 389—393

[8] 陈尚洪，朱钟麟，刘定辉，等. 秸秆还田和免耕对土壤养分及碳库管理指数的影响研究. 植物营养与肥料学报，2008，14(4)：806—809. Chen S H, Zhu Z L, Liu D H, et al. Influence of straw mulching with no-till on soil nutrients and carbon pool management index (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(4): 806—809

[9] 劳秀荣，孙伟红，王真，等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响. 土壤学报，2003，40(4)：618—623. Lao X R, Sun W H, Wang Z, et al. Effect of matching use of straw and

chemical fertilizer on soil fertility (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(4): 618—623

[10] 唐玉霞, 孟春香, 贾树龙, 等 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, 15(2): 37—40. Tang Y X, Meng C X, Jia S L, et al. Effect of different C/N combinations of fertilizers on nitrogen biological fixation and release of fertilizer and wheat growth (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(2): 37—40

[11] Martens D A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. Soil Biol Biochem, 2000, 32(3): 361—369

[12] 张庆华, 赵新海, 李莉, 等. 秸秆降解菌的筛选及模拟田间应用效果分析. 微生物学杂志,2010, 30(4): 101—104. Zhang Q H, Zhao X H, Li L, et al. Screening of crops stalks degradable microbes and effect analysis of its simulated field application (In Chinese). Journal of Microbiology, 2010, 30(4): 101—104

[13] 于建光, 常志州, 黄红英, 等. 秸秆腐熟剂对土壤微生物及养分的影响. 农业环境科学学报, 2010, 29(3): 563—570. Yu J G, Chang Z Z, Huang H Y, et al. Effect of microbial inoculants for straw decomposing on soil microorganisms and the nutrients (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(3): 563—570

[14] 李庆康, 王振中, 顾志权, 等. 秸秆腐解剂在秸秆还田中的效果研究初报. 土壤与环境, 2001, 10(2): 124—127. Li Q K, Wang Z Z, Gu Z Q, et al. Effect of straw return to soil by effective microorganisms on rice and wheat growth and their straw decay (In Chinese). Soil and Environmental Sciences, 2001, 10(2): 124—127

[15] 张电学, 韩志卿, 刘微, 等. 不同促腐条件下玉米秸秆直接还田的生物学效应研究. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 742—749. Zhang D X, Han Z Q, Liu W, et al. Biological effect of maize stalk return to field directly under different accretion decay conditions (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(6): 742—749

[16] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化. 土壤学报, 2006,43(5): 723—729. Xu M G, Yu R, Wang B R. Labile organic matter and carbon management index in red soil under long term fertilization (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(5): 723—729

[17] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol Biochem, 1987, 19(6): 703—707

[18] 韩琳, 张玉龙, 金烁, 等. 灌溉模式对保护地土壤可溶性有机碳与微生物量碳的影响. 中国农业科学, 2010, 43(8): 1625—1633. Han L, Zhang Y L, Jin S, et al. Effect of different irrigation patterns on soil dissolved organic carbon and microbial biomass carbon in protected field (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(8):1625—1633

[19] 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. Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000

[20] 高云超, 朱文栅, 陈文新. 土壤微生物生物量周转的估算. 生态学杂志, 1993, 12(6): 6—10. Gao Y C, Zhu W S, Chen W X. Estimation for biomass and turnover of soil microorganisms (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 1993, 12(6): 6—10

[21] Insam H, Mitchel C C, Dormaar J F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization and crop yield of three ulitisols. Soil Biol Biochem, 1991, 23(5): 459—464

[22] Tanaka H, Kyaw K M, Toyota K, et al. 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. Biol Fertil Soils, 2006, 42(6): 501—505

[23] 范丙全, 刘巧玲. 保护性耕作与秸秆还田对土壤微生物及其溶磷特性的影响. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 130—132. Fan B Q, Liu Q L. Effect of conservation tillage and straw application on the soil microorganism and P dissolving characteristics (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13(3): 130—132

[24] 李秋梅, 陈新平, 张福锁, 等. 冬小麦-夏玉米轮作体系中磷钾平衡的研究. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 152—156. Li Q M, Chen X P, Zhang F S, et al. Study on balance of phosphorus and potassium in winter wheat and summer maize rotation system (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(2): 152—156

[25] 赵巧梅, 倪纪恒, 熊淑萍, 等. 不同土壤类型对烟叶主要化学成分的影响. 河南农业大学学报, 2002, 36(1): 23—26. Zhao Q M, Ni J H, Xiong S P, et al. Effects of different soil types on the chemical composition of tobacco leaf (In Chinese). Journal of Henan Agricultural University, 2002, 36(1): 23—26

[26] Bradley R L, Fyles J W. A kinetic parameter describing soil available C and its relationship to rate increase in C mineralization. Soil Biol Biochem, 1995, 27(2): 167—172

[27] Sparling G P. Ratio of microbial biomass C to soil organic C as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. Aust J Soil Res, 1992, 30: 195—207

[28] Hassink J. Relationship between the amount and the activity of the microbial biomass in dutch grassland soils: Composition of the fumigation-incubation method and the substrate-induced respiration method. Soil Biol Biochem, 1993, 25(3): 530—538

[29] 杭怡琼, 薛惠琴, 郁怀丹, 等. 白腐真菌对稻草秸秆的降解及其有关酶活性的变化. 菌物系统, 2001, 20(3): 403—407. Hang Y Q, Xue H Q, Yu H D, et al. Rice straw degradation by white rot fungi and variance of activities of related enzymes (In Chinese). Mycosystema, 2001, 20(3): 403—407

[30] 张淑红, 刘秀花, 梁峰, 等. 低温纤维素降解菌的筛选及其酶学性质初步研究. 微生物学杂志,2009, 29(3): 97—100. Zhang S H, Liu X H, Liang F, et al. Screening of cryophilic cellulose-degradable bacterium and its zymological properties (In Chinese). Journal of Microbiology, 2009, 29(3): 97—100

[31] 潘国庆. 酵素菌技术的原理特点及应用效果. 江苏农业科学, 1999(6): 52—53. Pan G Q. Application effect and principle characteristics of the ferment bacteria technology (In Chi-

nese). Jiangsu Agricultural Sciences, 1999(6): 52—53

[32] 张彦丽, 谷思玉, 曾祥书, 等. 低磷土壤接种微生物壮秧剂对水稻秧苗吸收氮磷钾的影响. 中国农学通报, 2007, 23(7): 370—374. Zhang Y L, Gu S Y, Zeng X S, et al. The effects of seedling strengthen agent inoculated by microbe to the absorbed NPK of rice seeding in low phosphorus soil (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(7): 370—374

[33] 王栋, 李辉信, 李小红, 等. 覆草旱作对稻田土壤活性有机碳的影响. 中国农业科学, 2011, 44(1): 75—83. Wang D, Li H X, Li X H, et al. Soil labile organic carbon as affected by non-flooded rice cultivation with straw mulching under different tillages (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(1):75—83

[34] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 374—378. Ni J Z, Xu J M, Xie Z M, et al. Effects of different organic manure on biologically active organic fractions of soil (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(4): 374—378

[35] 沈宏, 曹志洪. 长期施肥对不同农田生态系统土壤有效碳库及碳素有效率的影响. 热带亚热带土壤科学, 1998, 7(1): 1—5. Shen H, Cao Z H. Effect of long term fertilization on soil available carbon pool and available ratio of soil carbon under different agro-ecosystem (In Chinese). Tropical and Subtropical Soil Science, 1998, 7(1): 1—5

EFFECTS OFINCORPORTION OF PRE-TREATED STRAWS INTO FIELD ON SOIL NUTRIENTS AND LABILE ORGANIC CARBON IN LIME CONCRETION BLACK SOIL

Ma Chao[1,2] Zhou Jing[1†] Liu Manqiang[2] Zheng Xuebo[1] Cui Jian[1] Li Huixin[2] Kang Binglong[3]

(1 *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 *Songdian Agricultural Comprehensive Service Station, Huoqiu, Anhui* 237400, *China*)

Abstract A two-year stationary field experiment under the crop rotation of wheat-corn was carried out in Shajiang black soil to study effects of incorporation of straws on soil nutrients and labile organic carbon. The experiment was designed to have five treatments, i. e. no fertilizer (CK), chemical fertilizer alone (F), chemical fertilizer + straw (FS), chemical fertilizer + straw + organic matter-decomposing inoculant (FSD), and chemical fertilizer 20% less than Treatment F in terms of P_2O_5 and K_2O + straw + organic matter-decomposing inoculant ($F_{4/5}SD$). Soil samples were collected in the plough layer of the field after the crops were harvest, for analysis of contents of nutrients, labile organic carbon and microbial biomass carbon. Results show that the compared with Treatment F, Treatment FS increased alkalystic N, available P, available K, labile organic carbon, A_{LC} and CPMI by 13.0%, 4.6%, 10.7%, 12.0%, 11.1% and 30.6%, respectively, and Treatment FSD did alkalystic N, available P, available K, labile organic C, soluble organic C, A_{LC} and CPMI by 17.4%, 40.5%, 12.4%, 12.0%, 51.3%, 9.5%, 102.3%, respectively, when compared with F. Correlation analysis shows that CPMI was better related to total N, alkalystic N, available P, available K, microbial biomass C and liable organic C in the soil than total organic C. Quite obvious, incorporating crop straws into the field with organic matter-decomposing inoculant is conducive to increasing soil nutrients, labile fraction of organic carbon, A_{LC} and CPMI, that is to say, even if the application rate of P and K fertilizers is reduced by 20%, the soil-building effect of this practice will not decline significantly.

Key words Incorporating straw into field; Organic matter-decomposing inoculant; Soil nutrients; Labile organic C; CPMI; Shajiang black soil

(责任编辑:卢 萍)