

关中平原农田作物秸秆还田对土壤有机碳和作物产量的影响

南雄雄, 游东海, 田霄鸿, 李 锦, 王淑娟, 崔 娟, 刘 廷

(西北农林科技大学, 资源环境学院, 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 结合关中平原农业生产现状, 通过对不同秸秆还田模式组合下土壤有机碳、活性有机碳含量和作物产量变化趋势的研究, 揭示秸秆还田效应, 为研究区筛选合理的还田模式以及农田土壤培肥和农业可持续发展提供理论依据。结果表明, 小麦秸秆还田后经过一季夏玉米生长, 能使耕层土壤(0~40 cm)有机碳有所提升; 高留茬还田使0~20 cm土层土壤活性有机碳和碳库管理指数呈现降低趋势, 而粉碎直接还田使其有所提高, 但差异均未达到显著水平。随后对玉米秸秆进行还田, 再经过一季小麦生长后, 使得耕层土壤有机碳含量有所提高, 其中连续两季进行秸秆粉碎直接还田使有机碳含量提高幅度最大, 0~20、20~40 cm土层有机碳分别提高1.86、1.69 g/kg; 同时显著增加了耕层土壤活性有机碳含量, 其中小麦秸秆进行粉碎直接还田增加趋势更为明显, 0~20、20~40 cm土层中分别平均提高0.90、0.85 g/kg; 且秸秆还田显著增加了碳库管理指数, 秸秆粉碎还田条件下增加趋势更明显。在关中平原的雨热条件下, 通过田块尺度上秸秆还田能有效改善土壤有机质状况, 尤其使有机碳质量明显提升, 就短期效果而言秸秆粉碎直接还田对土壤有机碳的调节作用更为明显; 针对研究区域容易出现的季节性干旱现象, 在小麦秸秆还田时采用高留茬还田能有效提高夏玉米生长期水分利用率, 保证其稳产高产; 轮作期内实施小麦高留茬-玉米粉碎直接还田模式组合, 是实现该区域水土资源高效利用、农业高效高产的最优耕作模式组合。

关键词: 关中平原; 秸秆还田; 土壤有机碳; 碳库管理指数; 作物产量

中图分类号: S141 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2011)05-0222-08

Effect of Returning of Cropland Straw to Field on Soil Organic Carbon and Grain Yield in Guanzhong Plain

NAN Xiong-xiong, YOU Dong-hai, TIAN Xiao-hong, LI Jin,

WANG Shu-juan, CUI Juan, LIU Ting

(College of Resource and Environment, Key Lab for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: Effect of straw returning in field scale on soil organic carbon (SOC) and grain yield was studied to explore more reasonable farming management models, which was helpful to provide a theoretical basis for soil cultivation and sustainable agricultural development in Guanzhong Plain. With the actual situation of agricultural production in test area, the trends of SOC, active organic carbon (AC) content and grain yield in different treatments were examined to clear the effect of straw returning through a comprehensive comparison. After the returning of wheat straw to cropland, the summer maize was grown. The result showed that SOC in topsoil (0-40 cm) have been improved in straw application, and that soil AC and carbon pool management index (CPMI) of 0-20 cm soil layer were slightly lowered in high stubble in field, while soil AC and CPMI were increased through smashing the wheat straw into field, which didn't make their mutation change. Subsequently, the result showed that maize stalks were returned to the field in three models, and that, after the wheat growing season, SOC content in the topsoil has increased significantly.

收稿日期: 2011-05-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD89B16); 国家自然科学基金面上项目资助(40971179)

作者简介: 南雄雄(1984-), 男, 陕西子长人, 硕士研究生, 主要从事养分资源管理方面的研究。

通讯作者: 田霄鸿(1967-), 男, 甘肃天水人, 教授, 博士生导师, 主要从事旱地土壤养分管理方面的研究。

through the straw returning treatment, and that, through smashing straw into field twice the SOC content can increase by 1.86 g/kg in 0–20 cm soil and 1.69 g/kg in 20–40 cm soil respectively. And also, the returning of crops stalk to the cropland can increase the AC content in the topsoil strikingly—especially, when wheat straw is smashed into the field, the AC content in the topsoil can increase more strikingly, that is, a average AC content can increase by 0.90 g/kg respectively in 0–20 cm and 0.85 g/kg in 20–40 cm soil; And straw returning significantly increased CPMI, especially through smashing straw into field treatments. Under the conditions of climate in Guanzhong Plain, soil organic carbon condition could be improved significantly through returning straw to field scale, especially, the SOC quality can be improved. Therefore, in the short run, smashing and returning the straw to the field can change the SOC more obviously. For there easily appear seasonal drought in the study area, it was useful to improve water use efficiency in maize growth period effectively to ensure the stable or higher yield trough high-stubble of wheat straw in field. It was the optimal model combination of high stubble of wheat with maize straw smashed into field in a whole rotation period for productive and efficient agriculture in this region, which can make a full use of water and heat resources in Guanzhong Plain.

Key words: Guanzhong Plain; Straw returning; Soil organic carbon; C pool management index; Grain yield

近 20 年来, 关中平原农业生产逐步实现了从播种到收获的全程机械化生产过程, 农业集约化生产程度越来越高。作物持续高产的物质基础是营养物质在土壤中的持续稳定供应^[1], 同时需要维持和不断改善土壤的物理、化学及生物性状。针对目前关中地区小麦/玉米轮作一年两熟制粮食种植模式下, 养分供应主要依赖于化肥, 有限的有机肥源几乎全部进入经济效益较高的果园或菜地, 从而使农田土壤质量下降、农业成本提高、经济效益降低; 而大量秸秆被随意弃置在田间地头或被直接焚烧, 不仅造成了秸秆资源极大的浪费, 而且引起一系列环境问题等的现状, 提高关中地区作物秸秆的农业循环利用率已是当务之急。而就目前的经济发展水平来说, 只有作物秸秆才能取代传统有机肥成为最重要的有机肥源, 因此秸秆还田就成为增加土壤有机质(碳), 提高土壤肥力, 促进农业生产的重要途径之一^[2–4]。大量研究表明, 与秸秆还田关系最为密切的就是土壤有机质。土壤有机质在土壤肥力、环境保护、农业可持续发展等方面均起着极其重要的作用^[5,6], 是影响土壤肥力和作物产量高低的决定性因子。研究中通常用有机碳来表示土壤有机质的数量特征, 而这一数量特征是其矿化分解与合成这两个过程的动态平衡, 是土壤有机碳的容量特征, 因此在实际农田生产中, 特别是秸秆还田等农田管理措施在改善土壤有机质状况等方面的效果在短期内很难用土壤有机碳的含量直观表现出来, 单纯的有机碳含量并不能很好地反映土壤有机碳的质量。近年来, 越来越多的研究者发现, 在土壤有机碳组成中, 有一部分有机碳对外界环境变化响应非常敏感, 与土壤的养分供应和作物生长密切相关, 这部分有机碳被称为活性有机碳, 因而已经成为土壤质量及土

壤管理评价指标之一^[7]。为了更好的反映农田土壤生产力与土壤碳库的关系, 研究人员对总有机碳、活性碳、稳态碳进行了大量的研究, 在此基础上, Le-froy 等^[8]首次提出了土壤碳库管理指数(CPMI)的概念, 为准确反映农田生产管理等因素对土壤有机碳库变化的影响提供了重要的依据。因此, 有机碳数量和质量的变化也成为评价农田作物秸秆还田效应最重要的指标之一。陈尚洪等^[9,10]研究表明, 南方稻区秸秆还田旋耕不仅能提高有机碳数量, 同时明显改善有机碳质量, 对提高土壤肥力有重要的作用。徐国伟等^[11]研究发现小麦秸秆还田对于下季水稻产量提高有积极作用。但由于受到气候、土壤母质和轮作方式等诸多因素的影响, 土壤有机碳及其组分对农田管理措施的响应在不同的区域存在较大差异^[12–14], 而且有关秸秆还田对作物产量影响的研究结果也尚不一致^[15]。因此, 在西北地区特有的气候条件和农田机械化作业的前提下, 进行秸秆还田对土壤有机碳及作物产量影响的研究有着重要意义。本研究通过关中平原一年二熟集约化种植制度下, 田块尺度上的秸秆还田试验, 分析了不同秸秆还田模式下, 土壤有机碳和作物产量的变化特征, 探讨研究区域各种秸秆还田模式对土壤碳库和作物产量的影响, 拟通过研究秸秆还田在提高土壤肥力和作物增产两方面的综合效应, 筛选较为合理的耕作管理模式, 为关中地区农田土壤培肥和农业可持续发展提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

田间试验于 2008 年 6 月至 2010 年 6 月在西北

农林科技大学三原试验站进行,试验站地处关中平原中部(E: 108°52', N: 34°36'),海拔高度 427.4 m,该地区属暖温带大陆性季风气候区,四季分明,气候温和;全年平均温度 12.9℃,年降水量为 526 mm 左右,四季降水量差异悬殊,夏秋季降水相对较多,占年降水量的 60%~70%,无霜期 218 d,日照时数 2 095 h;以小麦/玉米一年二熟轮作体系为最主要的种植制度。

1.2 供试土壤

供试土壤属于半淋溶土纲中红油土,土壤全氮 0.68 g/kg, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 13.87 mg/kg, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 12.92 mg/kg,速效磷 52.64 mg/kg,速效钾 122.82 mg/kg, 0~20 cm 和 20~40 cm 有机碳含量分别为 10.57 g/kg 和 7.35 g/kg。

作物收获后,田间每个处理进行多点采样,按照 0~20 和 20~40 cm 两层同层次混合,风干后,除去

杂物,研磨过 0.25 mm 筛供测定土壤有机碳(SOC)和活性有机碳用(AC)。

1.3 试验设计

为了与当地农业生产实际相结合和便于实施机械化操作,本试验采用了大型小区和裂区设计的思想,田间排列采用随机排列(2008 年 6~10 月进行小麦秸秆还田,共设置 3 个处理,即小麦秸秆粉碎直接还田、小麦秸秆高留茬覆盖还田和小麦秸秆不还田;在小麦秸秆还田基础上,于 2008 年 10 月至 2009 年 6 月进行玉米秸秆还田,设置 3 个处理,即玉米秸秆粉碎直接还田、玉米秸秆粉碎覆盖免耕深松还田和玉米秸秆不还田)。秸秆还田模式在全年内采用完全组合,所以 1 个轮作期内共有 9 种不同的秸秆还田模式组合处理(表 1),每个处理重复 3 次,每个小区面积为 1 112 m²(每小区内起 5 垄,每垄宽 0.5 m,垄长 75 m)。

表 1 秸秆还田模式组合

Tab. 1 Model of straw returning

编号 No.	小麦秸秆还田模式 Models		代码 Code	编号 No.	玉米秸秆还田模式 Models		代码 Code
	名称 Name	内容 Content			名称 Name	内容 Content	
模式 1 Model 1	小麦秸秆粉碎直接还田	小麦机械化高留茬收获 + 秸秆还田机粉碎 + 旋耕播种	W-C	模式① Model ①	玉米秸秆粉碎直接还田	机械化收获 + 粉碎秸秆 + 浅旋整地 + 施肥播种	M-C
模式 2 Model 2	小麦秸秆高留茬覆盖还田	小麦机械化高留茬收获 + 硬茬播种	W-H	模式② Model ②	玉米秸秆粉碎覆盖免耕深松还田	机械化收获 + 粉碎秸秆 + 深松 + 施肥播种	M-M
模式 3 Model 3	小麦秸秆不还田	小麦机械化低留茬收获 + 硬茬播种	W-N	模式③ Model ③	玉米秸秆不还田	玉米掰棒收获 + 施肥旋耕播种	M-N

田间试验在玉米生长季,小麦秸秆实施全量还田;配施化肥为 N: 187.5 kg/hm²(基施 67.5 kg/hm²,苗期追施 75 kg/hm²,喇叭口期追施 45 kg/hm²), P_2O_5 : 22.5 kg/hm²,作为基肥一次性施入。在小麦生长季节,玉米秸秆实施全量还田;配施化肥用量为 N: 150 kg/hm², P_2O_5 : 110 kg/hm²,均作为基肥一次性施入;肥料养分全部以尿素和磷酸氢二铵的形式施入。整个玉米生育期共灌水 2 次,分别在拔节期和抽雄期,灌水量约 50 mm;小麦生育期共灌水 2 次,分别在分蘖期和拔节期,灌水量约 50 mm。试验其他管理按照当地习惯,采取常规管理。

1.4 计算与分析方法

1.4.1 碳库管理指数计算^[16,17]

碳库指数(CPI) = 样品全碳含量(g/kg) / 对照土壤全碳含量(g/kg);

碳库活度(A) = 活性碳含量(g/kg) / 非活性碳含量(g/kg);

碳库活度指数(AI) = 样品碳库活度 / 原始土壤碳库活度;

碳库管理指数(CPMI) = 碳库指数 × 碳库活度指数 × 100 = CPI × AI × 100。

1.4.2 测定与分析方法 土壤有机碳采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法测定;活性有机碳的测定采用高锰酸钾氧化法,即用浓度 333 mmol/L 的高锰酸钾氧化待测样品,并于 565 nm 下测定吸光值,根据假设,氧化过程中高锰酸钾浓度变化 1 mmol 消耗 0.75 mm 或 9 mg 碳,其中能被 333 mmol/L 高锰酸钾氧化的碳即为活性有机碳^[18,19]。

数据采用 Excel、DPS7.05 统计软件进行方差分析和多重比较(SSR 法)。

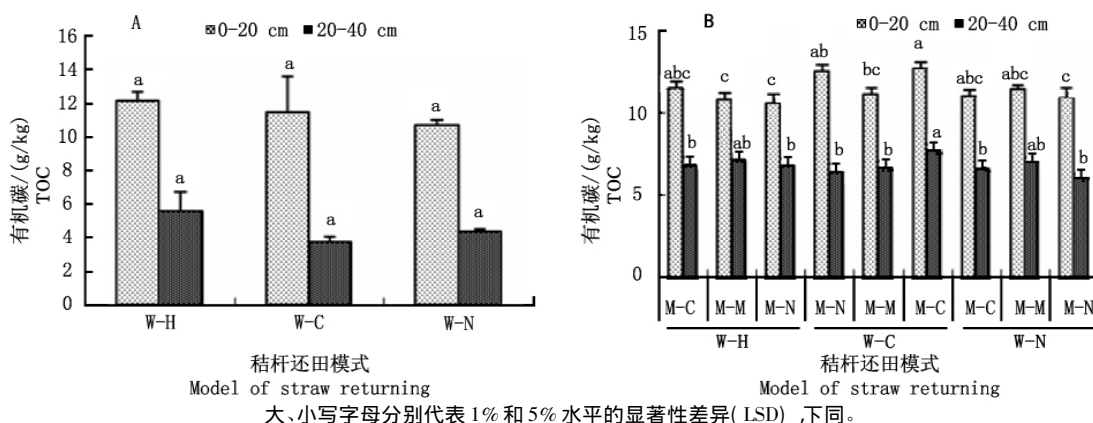
2 结果与分析

2.1 不同秸秆还田模式对土壤有机碳的影响

采用 3 种不同的秸秆还田模式进行小麦秸秆还田处理,经过一季夏玉米的生长后,按照试验方案设计采用 3 种不同模式对玉米秸秆进行田块尺度上的还田处理,再经过一季冬小麦的生长,土壤中的有机碳呈现出不同的变化。如图 1 所示,图 1-A 为前茬

小麦秸秆采用秸秆高留茬 (W-H)、秸秆粉碎旋耕 (W-C) 和秸秆不还田 (W-N) 3 种模式下全量还田 (还田量相同) 经过一季夏玉米生长后土壤中有有机碳的变化情况, 三种模式 W-H、W-C 和 W-N 下土壤表层 0~20 cm 有机碳含量分别为 12.15, 11.45, 10.67 g/kg, 秸秆还田条件下有机碳含量高于不还田的处理; 且在 20~40 cm 土层中也呈现出 W/H 模式下有机碳含量最高, 但均未达到显著水平。图 1-B 为玉米收获后, 在前茬小麦秸秆三种不同还田模式基础上, 玉米秸秆采用秸秆粉碎旋耕还田 (M-C)、秸秆粉碎覆盖还田 (M-M) 和秸秆不还田 (W-N) 三种模式, 进行田块尺度上秸秆全量还田 (不还田对照除外) 就一个轮作期而言共组合出 9 种不同的

秸秆还田模式, 再经过一季冬小麦的生长后土壤中有有机碳的变化情况。土壤表层 0~20 cm 土层中秸秆还田的处理 (M-C、M-M) 下土壤有机碳含量较不还田处理均呈现出普遍的增加趋势, 其中有机碳含量最高的处理为 W-C-M-C 模式, 达 12.80 g/kg, 较连续两季不还田处理 W-N-M-N 模式提高了 1.86 g/kg, 达到显著水平。而在 W-H-M-N、W-H-M-M、W-N-M-N 三种模式下, 土壤有机碳含量较小, 分别为 10.60, 10.84, 10.94 g/kg, 且 20~40 cm 土层中土壤有机碳含量也具有类似趋势, 秸秆还田处理下土壤有机碳含量较不还田处理均有所增加, 而 W-N-M-N 土壤有机碳含量最低, 仅为 6.10 g/kg。



The large, lowercase letters represent 1% and 5% level of significant difference respectively (LSD), the same below.

图1 不同秸秆还田模式对土壤有机碳的影响

Fig. 1 Effect of different straw returning model on soil organic carbon

2.2 不同秸秆还田模式对土壤碳库管理指数的影响

除了土壤有机碳含量外, 通过对土壤活性有机碳的分析发现不同的秸秆还田模式对土壤中活性有机碳也具有较大影响。经过一季夏玉米生长后, W-C 还田模式下土壤表层 0~20 cm 土层中活性有机碳含量较不还田 (W-N) 模式有所提高, W-H 还田使活性有机碳含量有所下降, 但差异均不显著; 土层 20~40 cm 中活性有机碳含量变化也不显著。而玉米秸秆继续还田, 经过第二季作物 (小麦) 生长后, 土壤中活性有机碳含量发生明显变化。在前季作物进行小麦秸秆还田 (W-C、W-H) 处理, 无论其第二季作物播前是否进行玉米秸秆还田 0~20, 20~40 cm 土层中土壤活性有机碳含量均呈现出显著增加的趋势, 且其中 W-C 模式下增加更为明显, 0~20, 20~40 cm 土层中土壤活性有机碳含量较不还田处理分别平均提高 0.90, 0.85 g/kg。而连续两季秸秆不还田处理 (W-N-M-N) 下, 0~20, 20~40 cm 土层中土壤活性有机碳含量均为最小, 分别为 2.07, 0.88 g/kg。

与土壤活性有机碳含量的变化情况相似, 经过一季作物生长后, 土壤碳库活度并未呈现出明显的规律性变化, 但经过两季作物生长后, 经过小麦秸秆还田的土壤, 无论其后是否进行玉米秸秆还田, 0~20, 20~40 cm 土层中碳库活度均呈现出明显的增加趋势。

在研究土壤有机碳和活性有机碳含量变化的基础上, 通过对土壤碳库管理指数的进一步分析发现, 秸秆还田后经过一季玉米生长, W-H 还田模式下表层 0~20 cm 土壤碳库管理指数降低了 38.83%, 而 W-C 还田使其提高了 27.78%。下层 20~40 cm 变化幅度不大。但再经过第二季作物生长后, 表层 0~20 cm 土壤碳库管理指数除了 W-N-M-M 模式下略低于连续两季不还田外, 其余无论进行一季还田还是两季还田的土壤中碳库管理指数均大幅提高, 其中 W-C 模式下的 M-N、M-C 和 M-M 3 种模式最为明显, 分别达到 159.73, 151.27 和 149.70。与表层土壤相似, 无论进行一季还田还是两季还田的土壤, 其 20~40 cm 土层中土壤碳库管理指数均大幅提高, 且提高幅度远远大于表层土壤提高幅度, W-C

模式下的 M-N、M-M 和 M-C3 种模式更为明显 ,分别 为 250.01 237.82 194.24。

表 2 不同秸秆还田模式下土壤碳库管理指数

Tab.2 Effect of different straw returning model on soil CPMI

种植模式 Planting	深度/cm Depth	秸秆还田模式 Model of straw returning		总有机碳 /(g/kg) TOC	活性碳 /(g/kg) AC	稳态碳 /(g/kg) UA	碳库 活度 A	活度 指数 AI	碳库 指数 CPI	碳库管 理指数 CPMI
第一季 种植玉 米收获后	0 ~ 20	W-H	W-N	10.67 a	2.26 ab	8.41	0.27	1.00	1.00	100.00
			W-H	12.15 a	1.54 b	10.61	0.14	0.54	1.14	61.17
			W-C	11.45 a	2.78 a	8.67	0.32	1.19	1.07	127.78
Harvest after the maize planted first	20 ~ 40	W-C	W-N	4.35 a	0.91 a	3.45	0.26	1.00	1.00	100.00
			W-H	5.57 a	1.03 a	4.54	0.23	0.86	1.28	110.10
			W-C	3.71 a	0.81 a	2.90	0.28	1.06	0.85	90.05
第二季 种植小 麦收获后	0 ~ 20	W-N	M-N	10.94 c	2.07 b	8.87	0.23	1.00	1.00	100.00
			M-M	11.47 abc	2.07 b	9.40	0.22	0.94	1.05	98.98
			M-C	11.28 abc	2.53 ab	8.75	0.29	1.24	1.03	127.70
	Harvest after the wheat planted second	W-H	M-C	11.65 abc	2.84 a	8.81	0.32	1.38	1.06	147.36
			M-M	10.84 c	2.57 ab	8.27	0.31	1.33	0.99	132.05
			M-N	10.60 c	2.74 a	7.86	0.35	1.50	0.97	145.07
		W-C	M-N	12.61 ab	3.08 a	9.53	0.32	1.39	1.15	159.73
			M-M	11.16 bc	2.85 a	8.31	0.34	1.47	1.02	149.70
			M-C	12.80 a	2.97 a	9.84	0.30	1.29	1.17	151.27
		20 ~ 40	W-N	6.10 b	0.88 b	5.22	0.17	1.00	1.00	100.00
			M-M	6.90 ab	0.97 b	5.93	0.16	0.97	1.13	110.20
			M-C	6.62 b	1.01 b	5.61	0.18	1.07	1.09	116.68
		W-H	M-C	6.75 ab	1.75 a	5.00	0.35	2.08	1.11	230.46
			M-M	7.06 ab	1.73 a	5.33	0.32	1.93	1.16	223.48
			M-N	6.78 ab	1.73 a	5.05	0.34	2.05	1.11	227.56
		W-C	M-N	6.39 b	1.83 a	4.56	0.40	2.39	1.05	250.01
			M-M	6.69 ab	1.79 a	4.91	0.36	2.17	1.10	237.82
			M-C	7.79 a	1.58 a	6.20	0.26	1.52	1.28	194.24

2.3 不同秸秆还田模式对作物产量的影响

通过对两季作物的产量进行分析发现 ,不同的秸秆还田模式及组合对产量具有重要影响。在第一季小麦秸秆还田试验中玉米产量变化较大 ,其中 W-H 模式下产量显著高于其他 2 种模式 ,达 7 739 kg/hm² ,而在其后的第二季小麦试验中 ,不同秸秆还田模式下 ,产量也有所变化 ,但统计上均未达显

著。为了综合考虑各种还田模式对产量的影响及其后效 ,通过对一个轮作期内玉米和小麦产量的总和进行分析(表 3) 发现 ,W-H-M-C 还田模式组合使得轮作期内作物总产量最高。就相同秸秆不同还田模式之间比较发现小麦秸秆还田时 ,采用 W-H 模式对产量的提高最有利 ,而玉米秸秆还田时 ,采用 M-C 模式对产量提高最有利(图 2) 。

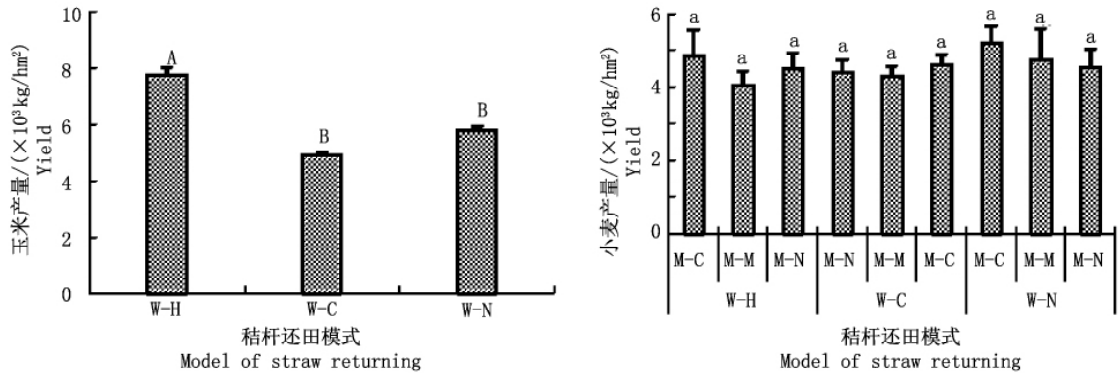


图 2 不同秸秆还田模式对作物产量的影响

Fig.2 Effect of different straw returning model on grain yield

表 3 不同秸秆还田模式对一个轮作期内作物总产量的影响

Tab.3 Effect of different straw returning model on grain yield in a rotation period kg/hm²

还田模式 Model	M-C	M-M	M-N	均值 Average
W-H	12 594.25 A	11 764.93 AB	12 238.60 A	12 199.26 a
W-C	9 511.28 BC	9 189.59 C	9 288.30 C	9 329.72 c
W-N	10 969.82 ABC	10 532.16 ABC	10 301.85 ABC	10 601.28 b
均值 Average	11 025.12 a	10 495.56 b	10 609.59 ab	

注: 轮作期内不同秸秆还田模式组合处理间多重比较在 1% 水平下进行 , 同类秸秆不同还田模式(均值) 间多重比较在 5% 水平下进行。

Note: The multiple comparisons of different treatments were conducted under the levels of 1% , and the multiple comparisons among model levels for the same kind of straw (average) were conducted under the levels of 5% .

2.4 不同秸秆还田模式对作物秸秆量的影响

鉴于试验拟研究长期进行田块尺度上秸秆还田的效应 , 因此对不同秸秆还田模式下作物秸秆量进行统计 , 结果显示作物秸秆产量和作物产量变化趋

势基本一致 , 小麦秸秆 W-H 模式下玉米秸秆产量最高 , 达 7 019 kg/hm² , 玉米秸秆全量还田后 , 继而播种的小麦所产生的秸秆量就短期内而言变化并不显著。

表 4 不同秸秆还田模式下作物秸秆产量

Tab.4 Effect of different straw returning model on straw yield

小麦秸秆还田模式 Model of wheat	玉米秸秆产量/(kg/hm ²) Straw yield of maize	玉米秸秆还田模式 Model of maize	小麦秸秆产量/(kg/hm ²) Straw yield of wheat
W-H	7 019 ± 228 a	M-C	5 195 ± 696 a
		M-M	4 149 ± 311 a
		M-N	4 323 ± 556 a
W-C	4 826 ± 372 b	M-N	5 038 ± 72 a
		M-M	4 845 ± 165 a
		M-C	4 659 ± 124 a
W-N	4 996 ± 325 b	M-C	5 903 ± 91 a
		M-M	5 439 ± 1 339 a
		M-N	5 161 ± 345 a

3 讨论

3.1 秸秆还田对土壤有机碳的影响

土壤有机质在土壤-植物体系物质循环和利用方面有着无可替代的作用 , 成为人们评价土壤质量和生产力高低的关键因子。土壤有机碳的数量和质量水平也直接反应土壤有机质的状况。土壤有机碳主要来源就是生长在土壤中的植物 , 对于农田土壤而言 , 作物残体就成了补充土壤碳库最主要途径之一。而在当前一些农业生产模式下 , 养分投入主要依赖于化肥 , 有机肥源远离粮田 , 且大量作物秸秆被丢弃或焚烧 , 造成农田生态系统中土壤有机碳含量在长时间尺度上的持续下降^[20]。李长生的早期模拟研究也表明 , 中国北方大部分农田土壤有机碳含量呈现负平衡 , 恢复农田系统土壤有机碳的平衡对于中国农业的可持续发展至关重要^[21-22]。本研究发现 , 在关中平原雨热条件下 , 采取不同方式田块尺度上秸秆全量还田 , 对土壤有机碳影响差异较大。从有机碳总量变化来看 , 虽然不同秸秆还田模式之

间以及还田与不还田土壤中有有机碳变化还未呈现出极显著的差异 , 但进行秸秆还田的土壤中有有机质已有明显增加趋势 , 特别是一些连续两季进行秸秆还田的处理 , 如 W-C-M-C 还田模式下 , 0 ~ 20 , 20 ~ 40 cm 土层中土壤有机碳含量均显著高于连续未还田处理。从土壤活性有机碳和土壤碳库管理指数的变化来看 , 秸秆还田以及不同秸秆还田模式对土壤有机碳的影响差异较大。秸秆还田使土壤碳库管理指数大幅度提高 , 其中 W-C 模式下的 M-N、M-C 和 M-M 三种玉米秸秆还田模式在 0 ~ 20 , 20 ~ 40 cm 土层中均最大幅度的提高了土壤碳库管理指数 , 这可能是由于前期小麦秸秆的腐解转化已经对土壤有机碳起到了补充和调节作用 , 而 W-C 模式下小麦秸秆与土壤的接触更均匀 , 从而使其更易腐解转化为土壤有机碳组分。

可见秸秆还田对土壤有机碳变化起到极为重要的影响 , 即使秸秆最初还入农田 , 新鲜的有机物质需要一个腐解转化的过程 , 并且土壤有机碳转化与平衡也需要较长时间^[23] , 这样对有机碳总量的影响表

现不明显,而此过程对土壤有机碳质量的影响已十分明显。秸秆还田对有机碳的影响不只体现在有机碳数量的变化上,更重要的是能够提升有机碳的质量,这与陈尚洪等^[9,10]在南方稻田中所得结论一致。因此,通过秸秆还田有望对土壤中有机碳的质和量起到重要的调控作用,从而提高土壤质量,为农业可持续生产奠定基础。

3.2 秸秆还田对作物产量的影响

由于关中平原基本属于半湿润易旱气候区,夏秋季蒸发量大,且容易出现季节性干旱,将收获后的冬小麦秸秆直接进行覆盖,可以减少农田表面的水热交换,有效抑制土壤蒸发,调节地温,旺盛生长期可利用水分增加,提高水分的利用率,对夏玉米的生长发育和产量形成非常有利^[24-34]。本研究中小麦秸秆还田时期采用高留茬免耕播种玉米的方式,通过高留茬在土壤保水保肥方面的积极作用,能够有效的缓减和防止季节性干旱使作物由于缺水造成的损失。因此,W-H 还田模式下,夏玉米在相对充足的水分条件下,产量和生物量均显著高于 W-C 和 W-N 的处理。而秋季后期降雨量相对较大,而大气温度降低,整个冬小麦生育期内无效蒸发量较小,使得水分对作物生长的制约性相对减小,因此就短期内而言秸秆还田在小麦增产方面的效应尚未显现。而综合该区域的耕作制度、气候条件和雨热分布特点考虑,W-H-M-C 还田模式组合使得轮作期内作物总产量达到最高。所以依据区域气候和农业生产实践,通过合适的秸秆还田模式,能够实现有限水热资源高效利用,实现农业高效高产。

总之,采用科学合理的秸秆还田模式,可以提高水热资源、养分资源的利用效率,而且有利于有机碳质与量的累积,进而提高包括籽粒产量在内的作物生物量,而作物秸秆的进一步还田,可保障农田有机物质循环的物质来源,有助于形成田块尺度上的良性循环。这个田块尺度上良性循环的微生物系统的推广和应用将对保障粮食安全和生态环境建设有重要意义。

4 结论

在关中平原的雨热条件下,通过田块尺度上的全量秸秆还田能有效改善土壤有机质状况,即使在短期内,总有机碳数量变化不明显,但有机物质的腐解和补给使得活性有机碳含量提高,有机碳质量明显提升。

就关中平原雨热条件下,秸秆还田后秸秆的腐解及其对土壤有机碳含量影响需要较长时间,而通

过秸秆粉碎旋耕,能使秸秆与土壤的接触更均匀,加快其腐解,所以就短期效果而言,秸秆粉碎直接还田(W-C 和 M-C)对土壤有机碳的调节作用较明显。

针对研究区域容易出现的季节性干旱现象,在小麦秸秆还田时采用高留茬还田(W-H)能有效提高夏玉米生长期水分利用率,保证其稳产高产。

综合考虑该区域田块尺度上秸秆还田对于土壤有机碳和作物产量的影响,小麦-玉米轮作制下,整个轮作期内实施 W-H-M-C 还田模式组合,是实现区域水热资源高效利用,农业高效高产的最优耕作模式组合。

参考文献:

- [1] 李生秀. 中国旱地农业[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 433-481.
- [2] Zhang H J, Gan Y T, Huang G B, *et al.* Postharvest residual soil nutrients and yield of spring wheat under water deficit in arid northwest China [J]. *Agricultural Water Management*, 2009, 96(6): 1045-1051.
- [3] 王小彬, 蔡典雄, 张镜清, 等. 旱地玉米秸秆还田对土壤肥力的影响[J]. *中国农业科学*, 2000, 33(4): 54-61.
- [4] 吴 婕, 朱钟麟, 郑家国, 等. 秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J]. *西南农业学报*, 2006, 19(2): 291-291.
- [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 [J]. *Aust J Agric Res*, 1995, 46: 1459-1466.
- [6] Gong Wei, Yan Xiao-yuan, Wang Jing-yan, *et al.* Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools under a wheat-maize cropping system in North China Plain [J]. *Plant Soil*, 2009, 314: 67-76.
- [7] Jenkinson D S, Rayner J H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments [J]. *Soil Science*, 1977, 123(5): 298-305.
- [8] Lefroy R D B, Blair G, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ¹³C natural isotope abundance [J]. *Plant Soil*, 1993: 155-156, 399-402.
- [9] 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[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(4): 806-809.
- [10] 陈尚洪, 刘定辉, 朱钟麟, 等. 四川盆地秸秆还田免耕对土壤养分及碳库的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2008, 6(增刊): 64-66.
- [11] 徐国伟, 谈桂露, 王志琴, 等. 秸秆还田与实地氮肥管理对直播水稻产量、品质及氮肥利用的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2736-2746.

- [12] Govi M , Francioso O , Ciavatta C , *et al.* Influence of long-term residue and fertilizer applications on soil humic substances: A study by electrofocusing [J]. *Soil Science* ,1992 ,154(1) : 8 – 13.
- [13] Jenkinson D S , Fox R H , Rayner J H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen – the so-called priming effect [J]. *Journal of Soil Science* ,1985 ,36: 425 – 444.
- [14] Powlson D S , Smith P , Coleman K , *et al.* A European network of long-term sites for studies on soil organic matter [J]. *Soil and Tillage Research* ,1998 ,47: 263 – 274.
- [15] 谭德水,金继运,黄绍文. 长期施钾与秸秆还田对西北地区不同种植制度下作物产量及土壤钾素的影响[J]. *植物营养与肥料学报* ,2008 ,14(5) : 886 – 893.
- [16] 赵 红,吕貽忠,杨 希,等. 不同配肥方案对黑土有机碳含量及碳库管理指数的影响[J]. *中国农业科学* ,2009 ,42(9) : 3164 – 3169.
- [17] 沈 宏,曹志洪. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响[J]. *土壤学报* ,2000 ,37(2) : 166 – 173.
- [18] Loginow W , Wisniewski W , Gonet S S , *et al.* Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation [J]. *Polish Journal of Soil Science* ,1987 ,20: 47 – 52.
- [19] 于 荣,徐明岗,王伯仁. 土壤活性有机质测定方法的比较[J]. *土壤肥料* ,2005 (2) : 49 – 52.
- [20] Matson P A , Parton W J , Power A G , *et al.* Agricultural intensification and ecosystem properties [J]. *Science* ,1997 ,277: 504 – 509.
- [21] 李长生. 土壤碳储量减少: 中国农业之隐患-中美农业生态系统碳循环对比研究[J]. *第四纪研究* ,2000 ,20(4) : 345 – 350.
- [22] 潘根兴,赵其国. 我国农田土壤碳库演变研究: 全球变化和国家粮食安全[J]. *地球科学进展* ,2005 ,20(4) : 384 – 393.
- [23] 江晓东,迟淑筠,王 芸,等. 少免耕对小麦/玉米农田玉米还田秸秆腐解的影响[J]. *农业工程学报* ,2009 ,25(10) : 247 – 251.
- [24] 胡 实,彭 娜,谢小立,等. 农田秸秆覆盖保墒研究[J]. *中国农业气象* ,2007 ,28(1) : 49 – 53.
- [25] 杜新艳,杨路华,脱云飞,等. 秸秆覆盖对夏玉米农田水分状况、土壤温度及生长发育的影响[C]//2005 年中国农业工程学会学术年会论文集. 2005: 213 – 215.
- [26] 李潮海,赵 霞,刘天学,等. 麦茬处理方式对机播夏玉米的生态生理效应[J]. *农业工程学报* ,2008 ,24(1) : 162 – 166.
- [27] 于晓蕾,吴普特,汪有科,等. 不同秸秆覆盖量对冬小麦生理及土壤温、湿状况的影响[J]. *灌溉排水学报* ,2007 ,26(4) : 41 – 44.
- [28] 赵 鹏,陈 卓,李 莉. 秸秆还田对冬小麦农田土壤无机氮和土壤脲酶的影响[J]. *华北农学报* ,2010 ,25(3) : 169 – 173.
- [29] 杨云马,贾树龙,孟春香,等. 不同耕作及秸秆还田条件下冬小麦养分利用率的研究[J]. *华北农学报* ,2010 ,25(S1) : 208 – 210.
- [30] 贾 伟,周怀平,解文艳,等. 长期秸秆还田秋施肥对褐土微生物碳、氮量和酶活性的影响[J]. *华北农学报* ,2008 ,23(2) : 142 – 146.
- [31] 周 波,高登民,劳秀荣,等. 长期秸秆还田及休闲处理对土壤肥力的影响[J]. *安徽农业科学* ,2008 ,36: 261 – 265.
- [32] 王海景,康晓东. 秸秆还田对土壤有机质含量的影响[J]. *山西农业科学* ,2009(10) : 44 – 47.
- [33] 王 应,袁建国. 秸秆还田对培肥土壤作用与效益研究[J]. *山西农业科学* ,2007 ,11: 72 – 75.
- [34] 霍 竹,王 璞,付晋峰. 秸秆还田下两种氮肥施用方式对夏玉米生长特性的影响[J]. *华北农学报* ,2005 ,20(1) : 104 – 108.