

长期秸秆还田对壤土耕层土壤有机碳库的影响

陈鲜妮, 岳西杰, 葛玺祖, 王旭东*

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 在关中平原壤土(土垫旱耕人为土)上施用化肥的条件下,进行不同用量玉米秸秆直接还田(低秸 $9\ 375\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 中秸 $18\ 750\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 高秸 $37\ 500\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、间接还田(厩肥, $37\ 500\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)的长期定位试验 21 a, 观测和分析了耕层土壤有机碳的储量及氧化稳定性等的变化。结果显示,与单施化肥相比,秸秆直接或间接还田均可显著提高土壤有机碳含量,耕层土壤有机碳储量分别增加了 12% (低秸)、24% (中秸)、41% (高秸)和 39% (厩肥)。施用秸秆和厩肥 21 a, 土壤有机碳累积系数平均分别为 5.6% 和 7.2%。秸秆直接还田和厩肥均使土壤有机碳的氧化稳定性降低,胡敏酸的能态升高且保持相对稳定。以上结果表明,秸秆直接或间接还田不仅能显著提高土壤有机碳储量,也能明显改善土壤有机碳的活性和质量,是提高农田固碳能力、促进农业可持续性的重要措施。

关键词: 壤土; 有机碳固定; 玉米秸秆还田; 有机碳氧化稳定性

中图分类号: S153.6⁺1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3037(2012)01-0025-08

农田土壤有机碳库是土壤肥力的重要指标,是作物高产稳产的基础^[1-2]。据估计,农田土壤碳贮量大约为全球陆地碳贮量的 10% 以上,是陆地土壤碳库最为活跃的部分,对农业管理措施变化反应敏感,在固定大气 CO₂、减缓气候变化方面有着巨大的潜力^[1-5]。因此,农田土壤有机碳库研究成为关系全球气候变化与农田地力提升的热点科学问题,从而受到人们的广泛关注^[1-11]。

农田土壤有机碳累积(固定)是一个十分复杂的过程,这个过程受到气候、土壤性质及耕作与施肥等人为管理措施的影响^[1-6]。大量研究表明,合理的耕作、施肥等田间管理措施,可以有效增加土壤有机碳的输入、降低有机碳的分解,提高土壤有机碳含量^[8-16]。施肥,尤其是化肥配施有机肥和秸秆还田能够显著提高土壤的碳储量,是促进土壤固碳与温室气体减排的双赢措施^[2-5]。我国每年的秸秆资源量大约有 $6 \times 10^8 \sim 7 \times 10^8\ \text{t}$,将这些秸秆归还给农田,存碳于土壤,不仅可以提高土壤有机碳含量,而且可以改善土壤肥力,防止秸秆焚烧带来的环境影响。有研究表明,秸秆还田后,约 8%~35.7% 的有机碳以土壤有机碳(SOC)的形式保存于土壤碳库中^[15-16]。由于受气候条件和土壤类型的影响,不同秸秆还田条件下农田土壤有机碳库的变化及有机碳的累积系数存在着较大的空间变异性。目前,尽管不同土壤及秸秆还田条件下土壤有机碳库的变化及有机物料的累积系数已有不少研究,但这些研究往往是基于室内模拟试验或短期的田间试验,具有说服力的长期定位试验研究还比较

收稿日期: 2010-04-26; 修订日期: 2011-06-21。

基金项目: 国家科技支撑项目(2007BAD89B16)。

第一作者简介: 陈鲜妮(1986-),女,河南浞池人,博士研究生,研究方向为土壤与环境化学。E-mail: xuchen0701@yahoo.cn

* 通信作者简介: 王旭东,教授,博士生导师。E-mail: wangxudong01@126.com

少;不同秸秆还田量下土壤有机碳的活性或氧化稳定性等质量特征更是缺乏系统的研究^[2,6-16]。

陕西关中平原是我国主要的粮食主产区,以小麦-玉米轮作为主,一年两熟,属于高度集约化的农业生产类型。在当地有灌溉条件的农田中,化肥用量很高,而秸秆、有机肥料的施用量较低;不仅造成土壤有机碳补偿不足,而且导致农田土壤肥力质量下降、生产效益降低,进而影响到了农业的可持续发展。为此,以秸秆为纽带的农田循环生产模式正在关中平原开展,将秸秆直接或间接还田,以提高土壤有机碳和土壤肥力质量。但秸秆还田对该地区土壤有机碳的固定究竟能够产生多大的影响,土壤有机碳的质量是否变化,目前尚不十分清楚。本文以陕西关中平原的塿土为对象,通过 21 a 的长期定位试验,观测和分析不同量秸秆直接和间接还田条件下的土壤有机碳储量和氧化稳定性的变化,揭示秸秆还田对土壤有机碳库数量与质量的提升效应,为秸秆还田技术选择提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验处理与土壤样品采集

长期定位试验位于渭河冲积平原三级阶地上的西北农林科技大学试验农场,东经 108°03',北纬 34°16',海拔 508.5 m。年平均气温为 13 °C,日照时数为 2 160 h,年降雨量为 650 mm 左右;最大冻土深度 24 cm,干燥度为 1.56%,全年无霜期为 213 d,属于典型的暖温带半湿润气候。试验地土壤为塿土(土垫旱耕人为土, Eum-Orthic Anthrosols),质地为粘壤。田间试验的玉米秸秆还田量设计为低、中、高 3 个水平(用量分别为低秸 9 375 kg·hm⁻²,中秸 18 750 kg·hm⁻²和高秸 37 500 kg·hm⁻²),分别代表当地中产田、高产田和 2 倍高产田所产秸秆的量(表 1)。另有厩肥处理(代表秸秆间接还田)、化肥处理(单施化肥)和不施肥的对照处理。小区面积 20 m²,3 次重复。一年两熟,小麦、玉米轮作。每年小麦收获后直接点播玉米,出苗后人工锄地松土,玉米收获后采土样(0~20 cm),然后进行玉米秸秆还田并配施化肥。小区采用人工翻地(20 cm 深),将玉米秸秆(长度小于 5 cm)、厩肥与土壤全层混合,沟播冬小麦。每年冬季进行冬灌至少一次,夏季视降水情况确定玉米灌溉次数。过磷酸钙在每年冬小麦播前一次施用,尿素每季作物施 225 kg·hm⁻²(小麦:2/3 作底肥,1/3 作追肥);玉米:喇叭口期全部用作追肥)。

表 1 秸秆还田试验处理

Table 1 Treatments of field experiment for maize residue return

处理	施肥种类及用量/(kg·hm ⁻²)			
	尿素	过磷酸钙	玉米秸秆	厩肥
无肥	0	0	0	0
化肥	450	525	0	0
低秸	450	525	9 375	0
中秸	450	525	18 750	0
高秸	450	525	37 500	0
厩肥	450	525	0	37 500

注:厩肥以牛粪为主。

长期试验开始时土壤有机碳含量为 8.13 g·kg⁻¹,全氮为 0.89 g·kg⁻¹,全磷 0.67 g·kg⁻¹,有效磷 7.5 mg·kg⁻¹,碱解氮 54.45 mg·kg⁻¹,属中等肥力水平土壤。供试

土样于玉米收获后采自该长期试验不同处理的耕层土壤(0~20 cm)。

1.2 分析方法

土壤有机碳含量测定采用重铬酸钾容量法。土壤有机碳氧化稳定性采用袁可能等^[17-18]方法:氧化稳定性 = 难氧化碳/易氧化碳。胡敏酸能态测定采用氧弹量热计方法^[9]。

2 结果与分析

2.1 不同施肥下土壤有机碳的储量差异

2.1.1 不施肥土壤有机碳的消长

定位试验 21 a, 不施肥土壤有机碳含量有所降低(图 1), 比试验开始时的土壤有机碳含量($8.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)降低了 $0.59 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 2)。不施肥土壤有机碳的来源主要为作物根茬等残留物, 这些有机物料平均每年可提供有机碳量为 $307.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 由于根茬的累积系数(单位物质分解一年后所残留的量)为 0.516, 则每年因作物残留物而累积的土壤有机碳为 $158.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。土壤稳定有机碳平均每年分解的量为 $472.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (平均每公顷土壤有机碳量 \times 分解系数 0.028), 该数值大于残留物累积的碳量。故在当地气候条件下, 若不施用任何肥料, 仅依靠作物根茬残留碳的循环, 不能维持土壤有机碳的平衡, 土壤有机碳含量呈下降趋势。

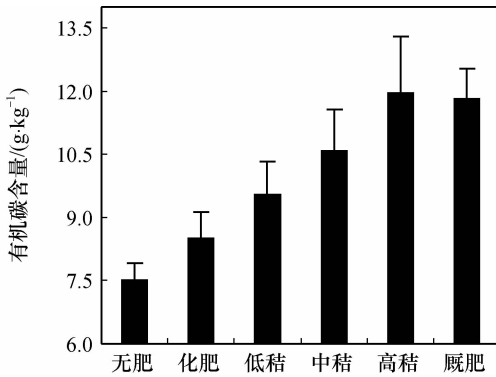


图 1 21 a 后不同处理土壤有机碳含量

Fig. 1 Soil Organic Carbon (SOC) content in different treatments after 21-year fertilization

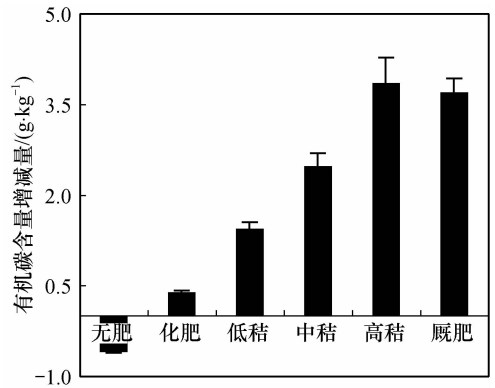


图 2 21 a 后不同处理土壤有机碳变化量

Fig. 2 Changes of SOC in different treatments after 21-year fertilization

2.1.2 单施化肥对土壤有机碳的消长

单施化肥对土壤有机碳消长的影响虽有报道, 但众说纷纭。本试验结果显示, 单施化肥 21 a, 土壤有机碳平均含量为 $8.53 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 比试验开始时的土壤有机碳水平增加了 $0.40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。表明施用化肥可以基本维持并在一定程度上能提高土壤有机碳水平。原因可能是在当地生态条件下, 施用化肥所产生的作物残茬量($594 \text{ kg C} \cdot \text{hm}^{-2}$)较无肥处理明显增多, 这些作物残茬所累积的有机碳可以弥补土壤有机碳的矿化损失, 但对提高土壤碳库储量的贡献十分有限。

2.1.3 不同量秸秆还田土壤有机碳的消长

秸秆直接或间接(厩肥)还田后的土壤有机碳含量明显高于不施肥和化肥处理, 差异达显著或极显著水平($P \leq 0.05$)。21 a 后土壤有机碳比试验开始时增加了 $1.44 \sim$

$3.85 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 增加幅度为 $17.0\% \sim 29.9\%$ 。等量秸秆和厩肥相比, 土壤有机碳水平相当。土壤有机碳含量随秸秆还田量的增加而增加, 表现为高秸 > 中秸 > 低秸。说明在初始土壤有机碳为 $8.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的土壤上, 施用有机物料有利于土壤有机碳的累积, 且随有机物料用量的增加呈增加趋势。虽然厩肥的含碳量比秸秆小 (前者为 $150 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 后者为 $400 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 但因其累积系数较大 (厩肥为 0.2348 , 玉米秸秆为 0.1201), 故等量厩肥和秸秆处理土壤有机碳差异并不显著。定位试验 21 a 各处理土壤有机碳含量表现为高秸 \approx 厩肥 > 中秸 > 低秸 > 化肥 > 无肥。方差分析表明, 无肥与化肥处理之间土壤有机碳含量差异不显著, 但它们和厩肥、高秸、中秸处理之间的差异达 1% 极显著水平。

2.1.4 秸秆还田后土壤碳储量和有机物料碳累积系数的变化

定位试验进行 21 a 后, 秸秆直接或间接还田的土壤耕层有机碳的储量比无肥和化肥处理均明显增加 (图 3), 且随着秸秆还田量的增加而增加, 即高秸 > 中秸 > 低秸。和试验开始时的土壤有机碳储量相比, 高、中、低秸还田量下, 耕层土壤有机碳储量分别增加了 8666 、 5573 和 $3250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 土壤有机碳平均每年增加分别为 413 、 265 和 $155 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。施用厩肥 21 a, 土壤有机碳储量增加 $8340 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均每年增加 $397.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (图 4)。与单施化肥相比, 秸秆直接或间接还田后土壤耕层有机碳储量分别增加了 12% (低秸)、 24% (中秸)、 41% (高秸) 和 39% (厩肥)。

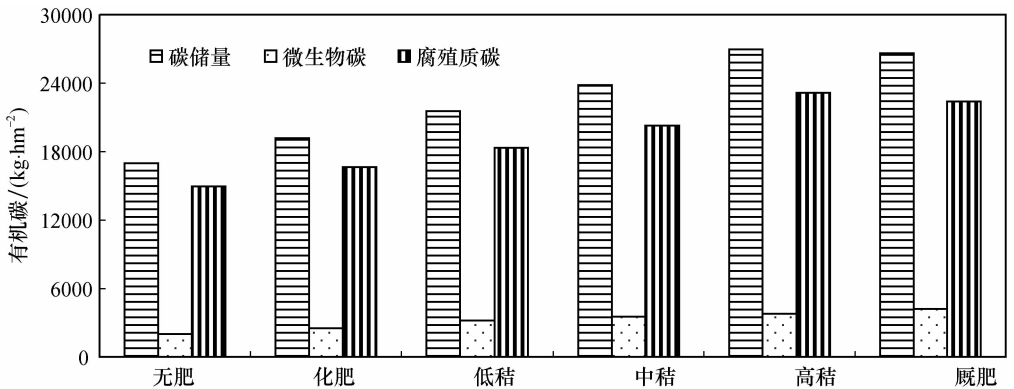


图 3 土壤耕层不同形态有机碳储量

Fig. 3 Storage of different fractions of SOC carbon in cultivation layer

在土壤储存的有机碳中, 无肥与化肥处理的土壤微生物碳含量相对较低, 占 $10\% \sim 13\%$, 平均为 11.7% ; 而秸秆还田处理中, 土壤微生物碳所占比例相对较高, 占到 $14\% \sim 16\%$, 平均为 15% (图 3)。可见, 秸秆直接或间接还田不仅使土壤中的总有机碳增加, 而且可以增加土壤中的微生物碳量。

以试验开始时的土壤有机碳含量作为参照, 根据秸秆直接或间接还田条件下土壤有机碳的增加量, 可计算出所增加的土壤有机碳占秸秆还田的碳量的比例, 反映出有机物料的累积系数。连续秸秆还田 21 a, 土壤耕层增加的有机碳占整个秸秆还田碳量的 5.6% (3 个还田水平的平均值)。低秸与中秸处理的累积系数接近, 约为 5.9% , 高秸秆水平的累积系数相对较低, 为 4.9% 。厩肥处理土壤耕层增加的有机碳占所施厩肥碳量的 7.2% , 高于秸秆有机碳的累积系数 (图 5)。

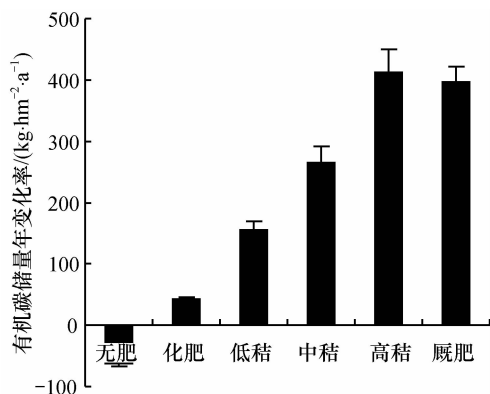


图4 有机碳储量的年变化率

Fig. 4 The annual rate of SOC accumulation

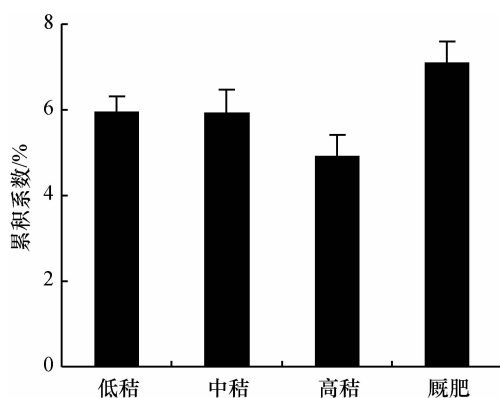


图5 有机物料碳的累积系数

Fig. 5 Accumulative coefficient of organic materials in soil

2.2 不同秸秆还田量下土壤有机碳的氧化稳定性

长期定位试验 21 a, 不同秸秆还田处理下土壤有机碳的氧化稳定性不同(表 2)。与无肥处理相比, 秸秆还田能显著增加易氧化碳的含量, 其中厩肥和高秸处理下的易氧化碳量分别比无肥处理高了 96.7% 和 69.2%, 易氧化碳占总碳的比例也明显较高。而化肥处理的易氧化碳量虽有增加, 但差异并不显著, 易氧化碳占总碳的比例还有所下降。各处理对难氧化碳的绝对量影响不大, 但对难氧化碳占总碳的比例影响较大, 厩肥和高秸处理使该比例明显下降, 化肥处理使该比例略有上升。与无肥处理相比, 秸秆、厩肥处理的土壤有机碳的氧化稳定系数明显减小, 且随有机物料种类和用量不同而不同, 厩肥 < 秸秆, 高秸 < 低秸, 而化肥处理则使有机碳的氧化稳定系数有所增加。

表 2 不同处理土壤有机碳的氧化稳定性

Table 2 The oxidation stability of SOC in different treatments

处理	总碳 /(g·kg ⁻¹)	易氧化碳 /(g·kg ⁻¹)	难氧化碳 /(g·kg ⁻¹)	易氧化碳 /总碳/%	难氧化碳 /总碳/%	氧化稳定性
无肥	7.54 ^a	3.93 ^a	3.61 ^a	52.12	47.88	0.92
化肥	8.53 ^b	4.40 ^a	4.13 ^a	51.58	48.42	0.94
低秸	9.57 ^c	5.60 ^b	3.97 ^a	58.52	41.48	0.71
高秸	10.90 ^d	6.65 ^c	4.25 ^a	61.01	38.99	0.64
厩肥	11.83 ^e	7.73 ^d	4.10 ^a	65.34	34.66	0.53

注: 同列数字后不同英文字母表示处理间差异达显著水平($P \leq 0.05$)。

2.3 秸秆还田对土壤腐殖物质能态的影响

对土壤胡敏酸的等容燃烧热值(表 3)的分析表明, 定位试验 21 a 胡敏酸的热值呈现厩肥 > 秸秆 > 无肥 > 化肥处理的趋势, 与定位试验 10 a 时各处理胡敏酸热值大小顺序基本相似。土壤胡敏酸的等容燃烧热反映了胡敏酸所具有的能态。张一平等^[9]研究结果表明, 胡敏酸能态高与其分子较小、缩合程度较低、芳核外围的脂肪族侧链较多有关。因此, 厩肥处理的土壤其胡敏酸能态的升高, 可能是由于施入的有机物料在腐殖化过程中形成了一些芳构化程度低、脂肪性强的小分子胡敏酸, 从而使土壤胡敏酸的组成比例发生了变化。

表3 不同处理土壤胡敏酸的能态

Table 3 The energy state of soil humic acids in different treatments

处理	定位试验 10 a 热值/(J·g ⁻¹)	定位试验 21 a 热值/(J·g ⁻¹)	差值/(J·g ⁻¹)
无肥	15 247.1 ^d	13 924.3 ^b	1 322.8
化肥	15 286.4 ^d	13 865.9 ^b	1 420.6
低秸	15 493.3 ^d	14 824.6 ^{bc}	688.6
中秸	17 666.6 ^{ef}	17 192.7 ^{ef}	473.8
高秸	16 543.3 ^e	16 178.8 ^{de}	364.5
厩肥	17 993.6 ^f	17 704.0 ^{ef}	289.6

注:同列数字后不同英文字母表示处理间差异达显著水平($P \leq 0.05$)。

与定位试验 10 a 相比,各施肥处理定位试验 21 a 时土壤胡敏酸的热值有所下降,表明定位试验 21 a 时各施肥处理土壤胡敏酸分子缩合程度增高,发生“老化”,说明土壤胡敏酸随时间推移有缩合现象。定位试验 21 a 与定位试验 10 a 时各施肥处理比较,无肥和化肥处理的胡敏酸热值下降幅度大,说明胡敏酸“老化”趋势快。而秸秆直接、间接(厩肥)还田处理的胡敏酸能态基本和定位试验 10 a 时保持同一水平,“老化”作用弱。

3 结论

在关中平原农田生态条件下,只靠作物根茬还田、长期不施用肥料,农田土壤有机碳含量呈下降趋势;而如果加施化肥,则基本可以维持土壤有机碳水平。在施用化肥的情况下,秸秆直接或间接还田均可以显著提高土壤有机碳的含量和储量,且随着秸秆还田量的增加而增加。

与无肥和化肥处理相比,秸秆还田和厩肥处理使土壤的易氧化碳增加,易氧化碳和难氧化碳的比值增大,有机碳的氧化稳定系数明显变小,且随有机物料种类和用量不同而不同,厩肥 < 秸秆,高秸 < 低秸,而化肥处理则使有机碳的氧化稳定系数有所增加。

定位试验 21 a,土壤胡敏酸的热值呈现厩肥 > 秸秆 > 无肥 > 化肥的趋势,反映出厩肥、秸秆处理的胡敏酸的脂肪族等侧链较多,活性较强。比较定位试验 21 a 与定位试验 10 a 的土壤胡敏酸热值,秸秆直接或间接还田(厩肥)胡敏酸的能态基本保持在同一水平,而无肥和化肥处理的胡敏酸能态下降,反映出胡敏酸的老化趋势加强。

参考文献 (References):

- [1] Lal R. Soil science and the carbon civilization [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, 71: 1425-1437.
- [2] 徐明岗,梁国庆,张夫道,等. 中国土壤肥力演变[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2006. [XU Ming-gang, LIANG Guo-qing, ZHANG Fu-dao, et al. Evolution of Soil Fertility of China. Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House, 2006.]
- [3] Sainju U M, Senwo Z N, Nyakatawa E Z, et al. Tillage, cropping systems, and nitrogen fertilizer source effects on soil carbon sequestration and fractions [J]. *Journal of Environment Quality*, 2008, 37: 880-888.
- [4] 潘根兴,周萍,李恋卿,等. 固碳土壤学的核心科学问题与研究进展[J]. 土壤学报, 2007, 44(2): 327-337. [PAN Gen-xing, ZHOU Ping, LI Lian-qing, et al. Core issues and research progresses of soil science of C sequestration. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(2): 327-337.]
- [5] Almaraz J J, Mabood F, Zhou X M, et al. Carbon dioxide and nitrous oxide fluxes in corn grown under two tillage systems in southwestern Quebec [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2009, 73: 113-119.
- [6] Ademir Calegari, Hargrove W L, Danilo Dos Santos Rheinheimer, et al. Impact of long-term no-tillage and cropping system

- management on soil organic carbon in an Oxisol: A model for sustainability [J]. *Agronomy Journal*, 2008, 100: 1013-1019.
- [7] 姜勇, 庄秋丽, 梁文举. 农田生态系统土壤有机碳库及其影响因子[J]. 生态学杂志, 2007, 26(2): 278-285. [JIANG Yong, ZHUANG Qiu-li, LIANG Wen-ju. Soil organic carbon pool and its affecting factors in farmland ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(2): 278-285.]
- [8] Huang X X, Gao M, Wei C F, *et al.* Tillage effect on organic carbon in a purple paddy soil [J]. *Pedosphere*, 2006, 16(5): 660-667.
- [9] 张一平, 郑安, 郭俊伟, 等. 不同施肥条件土壤胡敏酸能态的初步研究[J]. 土壤学报, 1985, 22(1): 104-107. [ZHANG Yi-ping, ZHENG An, GUO Jun-wei, *et al.* Preliminary study on energy of soil humic acids under different conditions of fertilization. *Acta Pedologica Sinica*, 1985, 22(1): 104-107.]
- [10] Sainju U M, Singh B P, Whitehead W F, *et al.* Carbon supply and storage in tilled and non-tilled soils as influenced by cover crops and nitrogen fertilization [J]. *Journal of Environment Quality*, 2006, 35: 1507-1517.
- [11] Yoo G, Wander M. Tillage effects on aggregate turnover and sequestration of particulate and humified soil organic carbon [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72: 670-676.
- [12] 邱莉萍, 张兴昌, 程积民. 土地利用方式对土壤有机质及其碳库管理指数的影响[J]. 中国环境科学, 2009, 29(1): 84-89. [QIU Li-ping, ZHANG Xing-chang, CHENG Ji-min. Effects of land-use type on soil organic matter and carbon management index in Ziwuling area. *China Environmental Science*, 2009, 29(1): 84-89.]
- [13] 李玉强, 赵哈林, 陈银萍. 陆地生态系统碳源与碳汇及其影响机制研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(1): 37-42. [LI Yu-qiang, ZHAO Ha-lin, CHEN Yin-ping. Advances in the study of terrestrial ecosystem carbon source-sink and affection mechanisms. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(1): 37-42.]
- [14] 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. [CHEN Shang-hong, ZHU Zhong-lin, LIU Ding-hui, *et al.* Influence of straw mulching with no-till on soil nutrients and carbon pool management index. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(4): 806-809.]
- [15] Lu F, Wang X, Han B, *et al.* Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in China's crop land [J]. *Global Change Biology*, 2009, 15(2): 281-305.
- [16] Lai R. Carbon management in agricultural soils [J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2007, 12(2): 303-322.
- [17] 袁可能, 张友全. 土壤腐殖质氧化稳定性的研究[J]. 浙江农业科学, 1964(7): 345-349. [YUAN Ke-neng, ZHANG You-quan. Study on the oxidation stability of humus in soil. *Journal of Agricultural Science*, 1964(7): 345-349.]
- [18] 袁可能. 土壤有机矿质复合体研究 I: 土壤有机矿质复合体中腐殖质氧化稳定性的初步研究[J]. 土壤学报, 1963, 11(3): 286-292. [YUAN Ke-neng. Study on the organic-mineral complex in soil: I The oxidation stability of humus from different organic-mineral complex in soil. *Acta Pedologica Sinica*, 1963, 11(3): 286-292.]

Effect of Long-Term Residue Return on Soil Organic Carbon Storage

CHEN Xian-ni, YUE Xi-jie, GE Xi-zu, WANG Xu-dong

(College of Resources and Environment, Northwestern A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: To investigate the effect of maize residue return on soil organic carbon (SOC) maintenance, soil samples were collected from a long-term field experiment site after 21-year treatments involving three rates of residue return (9 375, 18 750, 37 500 kg · hm⁻²), yard manure application (37 500 kg · hm⁻²), chemical fertilizer and unfertilized control. The study was conducted in Guanzhong Plain on clay loam soil, classified as Eum-Orthic Anthrosols. Compared to the chemical fertilizer treatment, the low, middle and high levels of residue incorporation increased SOC storage by 12%, 24% and 41%, respectively, while 39% increase was found for yard manure application. The SOC accumulative coefficient after 21 years was about 5.6% for residue, and 7.2% for yard manure. The annual rate of SOC accumulation was 413 kg · hm⁻², 265 kg · hm⁻² and 155 kg · hm⁻² for residue return at the high, middle and low levels, respectively, and 397 kg/hm² for yard manure application. Residue and yard manure application reduced the oxidation stability of SOC and enhanced the energy state of humic substances, which means the decrease of SOC decomposition. The results indicate that residue return, both directly and indirectly (yard manure application), would significantly increase the SOC level relative to chemical fertilizer treatment and unfertilized control on clay loam soil with benefits for soil productivity and agricultural sustainability.

Key words: loess soil; soil organic carbon sequestration; maize straw return; oxidation stability of soil organic carbon