

耕作方式对土壤有机碳库的影响

宋明伟^{1,2}, 李爱宗¹, 蔡立群¹, 张仁陟¹

(1. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275)

摘要:通过在甘肃中部干旱半干旱农业区进行 6 a 的田间定位试验,探讨了传统耕作(T)、免耕(NT)、免耕 + 秸秆覆盖(NTS)以及传统耕作 + 秸秆还田(TS)等处理对土壤有机碳库的影响。结果表明,在 0~30 cm 土层中,NTS、TS、NT 处理土壤有机碳含量分别比 T 处理提高了 5.09%、2.64% 和 4.08%;与 T 处理相比,NTS、TS、NT 处理土壤微生物量碳含量分别增加了 69.67%、47.72% 和 33.22%。NTS、TS、NT 处理有利于土壤有机碳的累积。不同处理(NTS、TS、NT、T)条件下土壤有机碳和微生物量碳在土壤剖面分布是随着土层深度的增加而呈现递减趋势。

关键词: 耕作方式;土壤有机碳;土壤微生物量碳;产量

中图分类号: S153.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)02-0622-05

Effects of Different Tillage Methods on Soil Organic Carbon Pool

SONG Ming-wei^{1,2}, LI Ai-zong¹, CAI Li-qun¹, ZHANG Ren-zhi¹

(1. College of Resources & Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Environmental Science & Engineering College of Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: In order to discuss the soil organic carbon pool under the different tillage methods in loess plateau semiarid area which was established in Dingxi of Gansu, the soil under different tillage conditions for 6 years was analyzed by chemical method. The results showed that no-till with straw cover(NTS), conventional tillage with straw incorporated(TS) and no-till without straw cover(NT) increased soil organic carbon contents compared with conventional tillage without straw(T) by 5.09%, 2.64% and 4.08% respectively; no-till with straw cover(NTS), conventional tillage with straw incorporated(TS) and no-till without straw cover(NT) increased contents of microbial biomass carbon of soil compared with conventional tillage without straw(T) by 69.67%, 47.72% and 33.22% respectively. Conventional tillage with straw incorporated(TS), no-till without straw cover(NT) and conventional tillage with straw incorporated(TS) to be more advantageous in developing the content of soil carbon. Soil organic carbon and microbial biomass carbon decreased with the increasing depth in soil profiles under different treatments (NTS, TS, NT and T).

Keywords: tillage method; soil carbon; microbial biomass carbon; yield

保护性耕作是相对于传统翻耕的一种新型耕作技术。传统的耕作方式破坏土壤的团聚体结构,使土壤有机碳失去保护暴露出来,加速土壤有机碳的分解^[1]。少免耕措施既可降低土壤有机碳的侵蚀,提高农业可持续发展能力,又可延长土壤中秸秆等有机质的循环周期^[2,3],降低农业温室气体的排放^[4]。另外,少免

耕不仅有利于土壤有机碳的积累,还有利于氮营养的积累,提高土壤团粒结构的碳和氮^[5]。免耕结合秸秆还田对提高土壤有机碳含量有更好的效果^[6]。

土壤碳库的动态平衡是土壤肥力保持和提高的重要内容,直接影响作物产量和土壤肥力的高低^[7]。耕地土壤有机碳的变化,除受当地气候条件和土壤性质的影响外,农业耕作措施也是影响土壤有机碳库变化的重要因素之一。合理的农业耕作措施可以提高土壤有机物质的输入量,减少土壤有机质的矿化分解,增加土壤有机碳含量^[8],并且每年能使土壤碳库提高 0.4~0.9 Pg 有机碳^[9]。但是传统耕作使农业土壤有机碳

收稿日期:2007-05-04

基金项目:ACIAR 资助(LWR2/1999/094);国家科技支撑计划(2006BAD15B06)

作者简介:宋明伟(1981—),男,甘肃皋兰人,在读博士研究生,主要从事恢复生态学研究。E-mail:songmw165@hotmail.com.

通讯作者:张仁陟 E-mail:zhangrz@gsau.edu.cn

大量减少,土壤结构恶化,进而促进土壤侵蚀^[10,11]。土壤有机碳含量的减少将直接导致土壤肥力降低,影响农业生产力。土壤经过多年传统耕作后,有机质含量下降到不足原始含量的 50%^[12]。甘肃中部半干旱农业区,常年以传统耕作方式为主,土壤过度翻耕、作物秸秆大量移出,导致表土暴露和土壤结构的破坏,特别是加速了土壤有机质的分解,同时增加了土壤侵蚀、水分和养分流失,耕地质量日趋退化。传统耕作已经难以维持土地的持续利用和农业的可持续发展。本文基于连续进行 6 a 的不同耕作方式试验,通过对土壤有机碳库的分析,以期为该地区选择适当地耕作方式以及维持土地的持续利用和农业的可持续发展提供科学及实践依据。

1 材料和方法

1.1 试区概况

试验于 2001—2006 年在甘肃农业大学旱农实验站进行。试区属中温带偏旱区,海拔 2 000 m,年均太阳辐射 594.7 kJ·cm⁻²,日照时数 2476.6 h,年均气温 6.4 ℃,≥0 ℃积温 2 933.5 ℃,≥10 ℃积温 2 239.1 ℃;无霜期 140 d。多年平均降水 390.9 mm,年蒸发量 1 531 mm,干燥度 2.53,80%保证率的降水量为 365 mm,变异系数为 24.3%,为典型的雨养农业区。土壤为典型的黄绵土,土质绵软,土层深厚,质地均匀,储水性能良好;0~200 cm 土壤容重平均为 1.17 g·cm⁻³,凋萎含水率 7.3%,饱和含水率 21.9%。

1.2 试验设置

试验自 2001 年开始,共设 4 个处理(表 1 所示),采取小麦-豌豆双序列轮作,即小麦-豌豆-小麦(W/P/W)和豌豆-小麦-豌豆(P/W/P),共 32 个小区,4 次重复,小区面积 4 m×20 m,随机区组排列。

供试春小麦品种为定西 35 号,每年 3 月中旬播种,播种量 187.5 kg·hm⁻²,行距 20 cm,各处理均施 N 105 kg·hm⁻² (尿素,N46%),P₂O₅ 105 kg·hm⁻² (过磷酸钙,P₂O₅14%);豌豆品种为绿农 1 号,每年 4 月上旬播

种,播种量 180 kg·hm⁻²,行距 24 cm。豌豆各处理均施 N 20 kg·hm⁻² (尿素,N 46%),P₂O₅ 105 kg·hm⁻² (过磷酸钙,P₂O₅ 14%),所有肥料都作为基肥在播种时同时施入。TS 和 NTS 还田所用的秸秆为上一年所种作物的秸秆,预先切成 5~7 cm,并充分晾晒后使用。各处理均由中国农业大学研制的免耕播种机播种。

1.3 测定方法

2006 年 8 月中旬作物收获后进行取样。用土钻取 0~5 cm、5~10 cm、10~30 cm 土层土样。每个小区用蛇形取样法随机选取 5 点,混匀后分为两个亚样本,一个亚样本经风干处理后过筛,测定土壤有机碳含量^[13];另一个亚样本测定土壤微生物量碳含量^[14]。土壤容重用环刀法测定,团聚体用改进的 yord 法测定,水分用烘干法测定^[15],小区产量为实收实打产量。

2 结果与分析

2.1 耕作方式对土壤有机碳的影响

土壤有机碳是土壤肥力高低的重要指标之一,也是土壤中重要的胶结物质。土壤有机碳影响着土壤的渗透性、抗蚀性、持水性和养分的循环,协调土壤的水肥气热等状况,对土壤酸碱和有毒物质具有缓冲能力,是土壤良好的缓冲剂。

由表 2 可以看出,不同耕作方式对土壤有机碳含量的影响有较大差异。0~5 cm 土层中 NTS、NT 处理与 T 处理达到极显著差异,分别高 0.68 g·kg⁻¹ 和 0.56 g·kg⁻¹,NTS 与 TS 处理之间达到显著差异,NT 与 NTS、NT 与 TS 及 T 与 TS 处理之间均差异不显著;在 5~10 cm 土层中 NTS、NT、TS 处理与 T 处理之间达到显著差异,有机碳含量分别比 T 处理高 0.69、0.73 和 0.36 g·kg⁻¹;在 10~30 cm 土层中 NTS、TS 处理与 T 处理之间差异极显著,分别比 T 处理有机碳含量高 0.20、0.16 g·kg⁻¹,NTS 与 TS 处理之间差异不显著。在 0~30 cm 层次中土壤有机碳的含量 NTS>NT>TS>T,与 T 处理相比,NTS 处理有机碳含量提高了 5.09%,TS 处理提高了 2.64%,NT 处理提高了 4.08%。就秸秆

表 1 试验处理描述

Table 1 Treatments description of the experiment

代码	处理	操作方法
T	传统耕作	作物收获后至冻结前三耕两耩,翻耕深度依次为 20 cm、10 cm 和 5 cm
NT	免耕	全年不耕作,播种时用免耕播种机一次性完成播种和施肥,收获后用 2,4-D 丁酯除草
TS	传统耕作+秸秆还田	耕作方式同 T,在第一次耕作的同时将前茬作物秸秆翻入土中
NTS	免耕+秸秆覆盖	耕作、播种和除草方法同 NT,收获后前茬作物秸秆全部归还小区

表 2 耕作方式对土壤有机碳的影响 (g·kg⁻¹)
Table 2 Effects of the different tillage methods on soil organic carbon (g·kg⁻¹)

处理	0~5 cm	5~10 cm	10~30 cm
T	10.88Bc	10.15Ab	10.00Bb
NT	11.44Aab	10.88Aa	10.02ABb
TS	11.17ABbc	10.51Aa	10.16Aa
NTS	11.56Aa	10.84Aa	10.20Aa

注:同一列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),同一列不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),下同。
Note: Different small letters in same column indicate significant difference between the different treatments ($P<0.05$), and the different capital letters in same row indicate significant difference ($P<0.01$). The same below

覆盖的两个处理来说,NTS 更有利于土壤有机质含量的增加和土壤有机质的累积,这与其他研究结果一致^[16]。NT 和 T 相比,NT 有机碳高于 T,说明 NT 有利于土壤有机碳含量的增加。

从土壤剖面来看,NTS、TS、NT、T 处理有机碳含量随着土层深度的增加有递减的趋势。NT、TS 处理 0~5 cm、5~10 cm 土层有机碳含量较 10~30 cm、土层有机碳含量减少的幅度较少;T 处理 0~5 cm、5~10 cm 土层有机碳含量较 10~30 cm 土层有机碳含量随土层的增加变化明显。NTS 处理土壤有机碳随着土层的增加递减,在这个序列中变化最明显。

2.2 耕作方式对土壤微生物量碳的影响

土壤微生物量碳含量能敏感地反映易变碳库的变化。土壤中微生物量碳主要来源于作物残体、根系分泌物以及有机肥料的输入。积累量与输入量的不同,土壤微生物得到的碳源数量和质量不同,使得土壤微生物量碳在不同耕作措施下表现出较大的差异。另外,朱咏莉等的研究表明,土壤管理措施对土壤微生物量碳也有较大影响^[17]。

由表 3 可以看出,0~5 cm 土层中 NTS、NT、TS 与 T 处理间土壤微生物量含量差异极显著,NTS、NT、TS 处理土壤微生物量碳含量比 T 处理分别高 185.21、73.42、110.78 mg·kg⁻¹;5~10 cm 土层中 NTS、NT 处理与 T 处理间达极显著差异,NTS、NT 处理土壤微生物量碳含量比 T 处理分别高 54.10、42.58 mg·kg⁻¹;10~30 cm 土层中,NTS、TS 处理与 T 处理之间达到极显著差异,NTS、TS 处理土壤微生物量碳含量比 T 处理分别高 68.11、76.94 mg·kg⁻¹;在 0~30 cm 层次中土壤微生物量碳的含量是 NTS>TS>NT>T,与 T 处理相比较,NTS 处理土壤微生物量碳含量增加了 69.67%,TS

表 3 耕作方式对土壤微生物量碳的影响 (mg·kg⁻¹)
Table 3 Effects of the different tillage methods on microbial biomass carbon of soil (mg·kg⁻¹)

处理	0~5 cm	5~10 cm	10~30 cm
T	175.49Cd	165.64Bc	100.11Bb
NT	248.91Bc	208.22Aab	130.68ABb
TS	286.27Bb	187.18ABbc	177.05Aa
NTS	360.70Aa	219.74Aa	168.22Aa

处理增加了 47.42%,NT 处理增加了 33.22%。整体来看,NTS、TS 处理和 NT 处理土壤微生物量碳含量均高于 T 处理,说明 NTS、TS 处理和 NT 处理有利于土壤微生物量碳含量的提高。

从土壤剖面分布来说,土壤微生物量碳含量垂直变化是随着土层深度的增加而呈现递减趋势。NTS 处理土壤微生物量碳含量变化最为明显,TS 处理次之,而 T 处理土壤微生物量碳含量减少幅度是最小。

2.3 0~30 cm 土壤有机碳、微生物量碳与土壤容重、土壤团聚体、水分的关系

表 4 是实施保护性耕作 6 年后,0~30 cm 土壤中有机碳、微生物量碳与土壤容重、团聚体及土壤水分的相关关系。由表可见,土壤有机碳与土壤微生物量碳、土壤团聚体、土壤水分之间极显著正相关,相关系数分别为 0.818、0.818、0.873;而土壤有机碳与容重成负相关,相关系数是-0.288。说明实施保护性耕作 6 年后,0~30 cm 土壤容重并未伴随土壤有机碳和土壤微生物量碳的增加而相应增加,可见土壤容重与土壤有机碳对土壤肥力变化表现出不同步性。而土壤微生物量较土壤有机碳对土壤肥力变化反应迅速,这也间接地证明了土壤微生物量碳比土壤有机碳更能灵敏地反映土壤肥力的变化。

3 结论与讨论

3.1 结论

- (1)在 0~30 cm 土层中,免耕+秸秆覆盖(NTS)、传统耕作+秸秆还田(TS)、免耕(NT)处理土壤有机碳含量与传统耕作(T)处理相比,分别提高了 5.09%、2.64%、4.08%,且各处理有机碳含量随着土层深度的增加而递减,其中 NT 和 TS 处理有机碳降低幅度较大。
- (2)在 0~30 cm 土层中,NTS、TS、NT 处理土壤微生物量碳含量与 T 相比较,NTS 处理增加了 69.67%,TS 处理增加了 47.42%,NT 处理增加了 33.22%,且土

表 4 0~30 cm 土壤有机碳、微生物量碳与土壤容重、团聚体、水分的相关性

Table 4 The correlation matrix of 0~30 cm soil organic carbon, microbial biomass carbon of soil and bulk density, aggregates, soil moisture

	C	MBC	容重 Bulk Density	团聚体 Aggregates	水分 Soil moisture
C	1				
MBC	0.818**	1			
容重 Bulk Density	-0.288	-0.369*	1		
团聚体 Aggregates	0.818**	0.778**	-0.390*	1	
水分 Soil moisture	0.873**	0.820**	-0.356*	0.813**	1

注:** 表示差异极显著($P<0.01$), * 表示差异显著($P<0.05$)。** Correlation is significant at $P<0.01$; * Correlation is significant at $P<0.05$.

壤微生物量碳含量垂直变化是随着土层深度的增加而呈现递减趋势。NTS 处理土壤微生物量碳含量变化最为明显,TS 处理次之,而 T 处理土壤微生物量碳含量减少幅度是最小。

(3)0~30 cm 土壤有机碳与土壤微生物量碳、土壤有机碳与土壤团聚体、土壤有机碳与水分极显著正相关,土壤有机碳与容重成负相关。

3.2 讨论

NTS、NT、TS 处理显著增加土壤有机碳含量,可能是试验地由传统耕作转变为免耕后,减少了对土壤的扰动,土壤结构和通气状况得到了改善,增加了土壤生物活性。另外,NTS 处理秸秆覆盖在地表,增加了土壤有机质的投入,微生物的数量和活性增加促进了地表覆盖物的腐解速率。耕层土壤尤其是 0~5 cm 的土壤有机碳含量较其他层次明显增加,这可能是土壤有机质矿化速率减慢,但土壤又不进行耕翻,得到地上植物残体补充较多造成的。TS 处理土壤 0~5、5~10、10~30 cm 土层有机碳含量均有所增加,是因为 TS 处理土壤从 2001 年起秸秆全部还田,耕翻使得有机物质进入土壤并得以累积的结果。国外研究也表明免耕处理有利于土壤有机碳的积累^[18,19]。West 等^[20]对比研究了免耕和传统耕作后认为,免耕可以减缓土壤有机物质的矿化率,有利于土壤有机碳的积累。传统耕作引起的土壤干-湿交替提高了土壤有机碳矿化速率,加快土壤有机质的降解^[21]。T 处理与 NTS、NT、TS 处理相比有机碳含量均较低,是由于 T 处理使表层以下新土壤不断暴露在土壤表面,经干湿交替,改变了土壤状况(通气、水分、温度等),使有机碳积累的条件发生了改变,为土壤有机碳转化创造了有利条件。另外,地上部分随收获而取走也是 T 处理土壤有机碳明显降低的原因之一,NT 处理虽然地上部分也取走,但是减少了翻耕,降低了土壤有机质的分解。

参考文献:

- [1] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
HUANG Chang-yong. Pedology[M]. Beijing: Scientia Agricultura Sinica, 2000.
- [2] Reicosky D C, Dugas W A, Torbert H A. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems [J]. *Soil and Tillage Research*, 1997, 41: 105-118.
- [3] Morris D R, Gilbert R A, Reicosky D C, et al. Oxidation potentials of soil organic matter in histosols under different tillage methods [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68: 817-826.
- [4] Schlesinger W H. Carbon sequestration in soils [J]. *Science*, 1999, 284: 2095.
- [5] Namr K L, Mrabet R. Influence of agricultural management on chemical quality of a clay soil of semi-arid Morocco [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2004, 39: 485-489.
- [6] Smith P, Powlson D S. Considering manure and carbon sequestration[J]. *Science*, 2000, 287: 428-429.
- [7] 沈 宏, 曹志洪, 王志明. 不同农田生态系统土壤碳库管理指数[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 206-211.
SHEN Hong, CAO Zhi-hong, WANG Zhi-ming. Study on soil C pool management index of different farmland ecosystems[J]. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(3): 206-211.
- [8] 梁爱珍, 张晓平, 等. 耕作方式对耕层黑土有机碳库储量的短期影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(6): 1287-1293.
LIANG Ai-zhen, ZHANG Xiao-ping, et al. Short-term effects of tillage on soil organic carbon storage in the plow layer of black soil in northeast China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(6): 1287-1293.
- [9] 李德文, 孟凡祥, 等. 农业管理措施对土壤有机碳固存潜力影响的研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(4): 260-263.
LI De-wen, MENG Fan-xiang. Research advances in the effect of agricultural management on soil organic carbon sequestration [J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2005, 21(4): 260-263.
- [10] Six J, Elliott T, Paustian K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63: 1350-1358.
- [11] Bayer C, Mieleniczuk J, Amado T J C, et al. Organic matter storage in a

- sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil[J]. *Soil and Tillage Research*, 2000, 54: 101–109.
- [12] Roscoe R, Buurman P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol [J]. *Soil and Tillage Research*, 2003, 70: 107–119.
- [13] 鲍士旦主编.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.30–34.
Bao S D. Soil Agro chemistry Analysis[J]. Beijing: *Chinese Agricultural Press*, 2000. (3):80–81.
- [14] 林启美, 吴玉光, 刘焕龙.熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进[J].生态学杂志, 1999, 18(2):63–66.
LIN Qi-mei, WU Yu-guang, LIU Huan-long. Modification of fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(2): 63–66.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究所主编.土壤物理性质测定法[M].北京:科学出版社,1978.
CAS Nanjing Institute of Soil Physics editor Determination of soil physical properties[M]. Beijing:Science Press,1978.
- [16] 黄 耀, 刘世梁, 沈其荣, 等.环境因子对农业土壤有机碳分解的影响[J].应用生态学报,2002,13(6):709–714.
HUANG Yao, LIU Shi-liang, SHEN Qi-rong, et al. Influence of environmental factors on the decomposition of organic carbon in agricultural soils[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(6):709–714.
- [17] 朱咏莉, 韩建刚, 吴金水.农业管理措施对土壤有机碳动态变化的影响[J].土壤通报,2004, 35(5): 648–651.
ZHU Yong-li, HAN Jian-gang, WU Jin-shui. Effect of agricultural practices on soil organic carbon dynamics[J]. *Chinese Journal of Soil Science*,2004,35(5): 648–651.
- [18] McCarty G, W Lysenko N, Starr J L. Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62: 1564–1571.
- [19] Staley T E, Boyer D G. Short-term carbon, nitrogen and pH alterations in a hill-land Ultisol under maize silage relative to tillage method[J]. *Soil and Tillage Research*, 1997, 42: 115–126.
- [20] West T O, Marland G. Net carbon flux from agricultural ecosystems: methodology for full carbon cycle analyses [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116: 439–444.
- [21] 杨景成, 韩兴国, 等.土壤有机质对农田管理措施的动态响应[J].生态学报,2003,23(4):788–796.
YANG Jing-cheng, HAN Xing-guo, et al. The dynamics of soil organic matter in cropland responding to agricultural practices[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4):788–796.