

耕作方式对土壤活性有机碳和碳库管理指数的影响

王晶¹, 张仁陟^{2*}, 李爱宗²

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 基于在黄土高原半干旱地区的典型代表一定西市安定区连续进行6a的保护性耕作试验,研究了不同耕作方式对土壤总有机碳和活性有机碳的影响,并对各处理的碳库活度(A)、碳库活度指数(AI)、碳库指数(CPI)和土壤碳库管理指数(CMPI)进行了计算。结果表明:与传统耕作不覆盖(T)相比,免耕秸秆覆盖(NTS)、传统耕作结合秸秆还田(TS)和免耕不覆盖(NT)有利于土壤总有机碳含量和活性有机碳含量的提高,并且有随着土层深度的增加而递减的趋势;NT、NTS和TS有助于提高0~5cm土层土壤活性有机碳占土壤总有机碳的百分率,尤以NTS处理的效果最为明显,说明NTS处理的土壤碳素活性大、易转化;对碳库各项管理指数来说,总体上秸秆覆盖或还田的贡献大于耕作措施,说明对土壤进行秸秆覆盖或还田有利于土壤碳库管理指数提高。

关键词: 耕作方式;总有机碳;活性有机碳;碳库管理指数

中图分类号: S 153.6⁺¹ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)06-0008-05

土壤活性有机碳是指在土壤中移动较快、不稳定、易氧化、易分解、易矿化,能被微生物利用作为能源及碳源的土壤有机碳^[1],是土壤的重要组成部分,也是植物的养分库,可以提供植物所需要的养分,维持土壤团粒结构的稳定性。由于其具有很高的灵敏度,可在全碳变化之前反映土壤的微小变化^[2],其中农业生产措施引起土壤碳库的最初变化也主要是易分解、矿化的那部分碳,即活性碳部分^[3],因此,土壤活性有机碳能够作为土壤潜在生产力以及由土壤管理措施引起土壤有机质变化的早期指标^[4]。因此,在现代土壤研究中,土壤活性碳的研究尤为重要。保护性耕作是一种进行少免耕,同时采用作物秸秆覆盖地表,从而达到保水保肥和改善土壤结构的农业耕作技术。近年来的研究表明,保护性耕作有利于土壤碳固定,减少温室气体排放,通过改变农业管理措施和农业投入而使农田生态系统中土壤碳含量提高,同时减少CO₂向大气中的释放^[5,9]。施肥对土壤活性有机碳的影响已有研究^[5,9],但有关耕作方式对土壤活性有机碳及碳库管理指数的影响却少有报道。因此,本研究通过测定不同耕作方式下土壤活性有机碳,并计算出土壤各项碳库管理指数,旨在为研究和评价不同耕作方式对陇中黄土高原干旱半干旱区土壤有机碳的影响、土壤肥力的保持与提高以及土壤的持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

试验设在陇中黄土高原半干旱丘陵沟壑区的定西市李家堡乡甘肃农业大学旱农试验站。试验区属中温带偏旱区,平均海拔2000m,年均太阳辐射594.7kJ/cm²,日照时数2476.6h,年均气温6.4℃,≥0℃积温2933.5℃,≥10℃积温2239.1℃;无霜期140d;多年平均降水390.9mm,年蒸发量1531mm,干燥度2.53,80%保证率的降水量为365mm,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。

1.2 试验设计

本试验开始于2001年,共设4个处理:传统耕作不覆盖(T)、免耕不覆盖(NT)、传统耕作结合秸秆还田(TS)和免耕秸秆覆盖(NTS),4次重复,小区面积20m×4m,随机区组排列。3月中旬播种春小麦,品种为定西35号,播种量187.5kg/hm²,行距为20cm。各处理均施N105kg/hm²(尿素,46%N),P₂O₅105kg/hm²(过磷酸钙,14%P₂O₅),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5~7cm,并充分晾晒后使用。T、NT、TS和NTS用中国农业大学研制的免耕播种机播种。

收稿日期:2008-02-25

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

作者简介:王晶(1980-),男,甘肃兰州市人,硕士,主要从事保护性耕作研究。

*通讯作者:张仁陟,男,教授,博士生导师。E-mail:zhangrz@gau.edu.cn。

1.3 测定方法

1.3.1 采样时间与方法 在 2006 年 8 月份于小麦收获后取样,其中不同处理各点分 0~5 cm, 5~10 cm 和 10~30 cm 三个层次,每个小区各层均采集 3 个点的土样进行混合,捡去作物根系,室内自然风干,过 0.25 mm 筛,用于土壤总有机碳和活性有机碳的测定。

1.3.2 分析方法 土壤有机碳采用重铬酸钾-浓硫酸外加热氧化法^[7];活性有机碳测定采用水合热法^[8]。

1.4 计算公式

碳库活度(A) = 活性碳/稳态碳;碳库活度指数(AI) = 农田碳库活度/参考土壤碳库活度;碳库指数(CPI) = 农田土壤有机碳/参考农田土壤有机碳;碳库管理指数(CPMI) = 碳库指数 × 碳库活度指数 × 100。

1.5 数据分析

利用 Excel 和 DPS 等统计软件对测定结果进行统计分析。

2 结果分析

2.1 耕作方式对土壤总有机碳的影响

2.1.1 土壤总有机碳的变化 土壤总有机碳是评价土壤肥力水平高低的重要指标之一,影响着土壤的物理性质和土壤的保肥与供肥性能,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^[9]。

表 1 耕作方式对土壤总有机碳的影响(g/kg)

Table 1 Effect on the TOC in different tillages

处理 Treat ment	土层 Layer(cm)		
	0~5	5~10	10~30
NTS	11.56Aa	10.84Aa	10.20Aa
NT	11.44Aab	10.88Aa	10.02Ab
TS	11.17ABbc	10.51Aab	10.16Aab
T	10.88Bc	10.15Ab	10.00Ab

注:同一列不同小写字母表示差异达到显著水平, $P < 0.05$; 同一列不同大写字母表示差异达到极显著水平, $P < 0.01$ 。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference, $P < 0.05$; different capital letters in the same column indicate great significant difference, $P < 0.01$.

由表 1 可以看出,不同耕作方式对土壤总有机碳含量的影响是不一样的。0~5 cm 土层中 NTS、NT 处理与 T 处理间差异达到极显著水平($P < 0.01$),分别比 T 处理高 0.68 g/kg 和 0.56 g/kg, NTS 与 TS 处理之间差异达到显著水平($P <$

0.05),但 TS 与 T 处理间,NT 和 NTS 处理间,以及 NT 和 TS 处理间差异不显著;在 5~10 cm 土层中 NT、NTS 处理与 T 处理有机碳含量差异达到显著水平($P < 0.05$),分别比 T 处理高 0.73 g/kg 和 0.69 g/kg,TS 与 T 处理间差异不显著,NTS、NT、TS 处理间差异也不显著;10~30 cm 土层中 NTS 与 T 处理间总有机碳含量差异显著($P < 0.05$),NTS 与 NT 处理间差异达到显著水平($P < 0.05$),NTS 与 TS 处理间,NT 与 T 处理间,NT 与 TS 处理间,以及 TS 与 T 处理间的差异则不显著。

2.1.2 耕作方式对土壤剖面有机碳的影响

图 1 表明,耕作方式对剖面总有机碳的影响也不同。NTS、TS、NT 和 T 处理下土壤总有机碳含量随着土层深度的增加而下降。但是,各个处理下降的幅度却不同,NT、NTS 和 TS 处理下降的幅度较大,NTS、NT 和 TS 处理 10~30 cm 土层总有机碳含量比 0~5 cm 土层分别低 1.36 g/kg、1.42 g/kg 和 1.01 g/kg,下降的幅度分别为 11.76%、12.41% 和 9.04%,而 T 处理 10~30 cm 土层总有机碳含量比 0~5 cm 土层低 0.88 g/kg,下降的幅度为 8.09%,可以看出 T 处理下降的幅度最小。

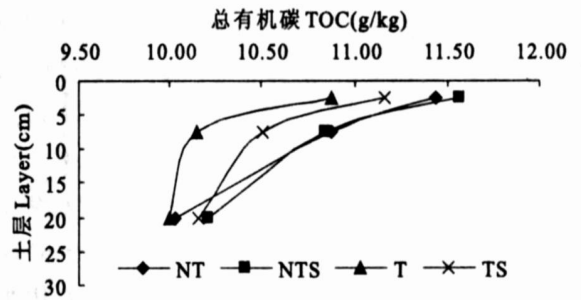


图 1 土壤总有机碳的剖面分布特征(g/kg)

Fig. 1 The profile distribution of TOC in soils (g/kg)

2.2 耕作方式对土壤活性碳的影响

2.2.1 土壤活性有机碳的变化 土壤活性有机碳是土壤中移动快、稳定性差、易氧化和矿化的有机碳,是微生物生长的速效基质,其含量高低直接影响土壤微生物的活性,因此土壤活性有机碳对调节土壤养分有很大影响^[10]。同时,耕作方式对土壤活性有机碳含量有较大的影响,土壤活性有机碳含量变化对耕作方式较为敏感。

从表 2 可以看出,0~5 cm 土层中 NT、NTS、T 和 TS 处理间活性有机碳含量差异显著($P < 0.05$),NTS、NT 和 TS 处理与 T 处理间差异达到极显著水平($P < 0.01$),NTS、TS、NT 处理分别比 T 处理分别高 0.89 g/kg、0.34 g/kg 和 0.59 g/kg;5~10 cm

土层中 NTS、TS 处理比 T 处理分别高 0.16 g/kg 和 0.25 g/kg , TS 处理与 T 处理间差异显著 ($P < 0.05$), NT 处理却比 T 处理低 0.15 g/kg , 但它们之间的差异并未达到显著水平; $10 \sim 30 \text{ cm}$ 土层中, NTS、TS 处理比 T 处理分别高 0.36 g/kg 、 0.14 g/kg , NT 处理比 T 处理低 0.15 g/kg , NTS 与 NT、T、TS 处理之间的差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)。

表 2 耕作方式对土壤活性有机碳的影响 (g/kg)

Table 2 Effect on the ASOC in different tillages

处理 Treat ment	活性有机碳 ASOC (g/kg)		
	0~5cm	5~10cm	10~30cm
NT	3.22 ^{ABb}	2.26 ^{Bc}	1.99 ^{Cd}
NTS	3.52 ^{Aa}	2.56 ^{ABab}	2.50 ^{Aa}
T	2.63 ^{Cd}	2.40 ^{ABbc}	2.14 ^{BCc}
TS	2.97 ^{Bc}	2.65 ^{Aa}	2.28 ^{Bb}

注:同一列不同小写字母表示差异达到显著水平, $P < 0.05$; 同一列不同大写字母表示差异达到极显著水平, $P < 0.01$ 。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference, $P < 0.05$; different capital letters in the same column indicate great significant difference, $P < 0.01$.

2.2.2 耕作方式对土壤剖面有机碳的影响 土壤活性有机碳在剖面上也有明显的变化,如图 2 所示, NTS、TS、NT 处理和 T 处理活性有机碳含量随着土层深度的增加呈现递减的趋势。但是,各个处理下降的幅度不同,与 T 处理相比, NT、NTS、TS 处理下降的幅度较大, NTS、NT、TS 处理 $10 \sim 30 \text{ cm}$ 土层活性有机碳含量比 $0 \sim 5 \text{ cm}$ 土层分别低 1.02 g/kg 、 1.23 g/kg 和 0.69 g/kg , 下降的幅度分别为 28.98% 、 38.20% 和 23.23% , 而 T 处理 $10 \sim 30 \text{ cm}$ 土层活性有机碳含量则比 $0 \sim 5 \text{ cm}$ 土层低 0.49 g/kg , 下降的幅度分别为 18.63% 。

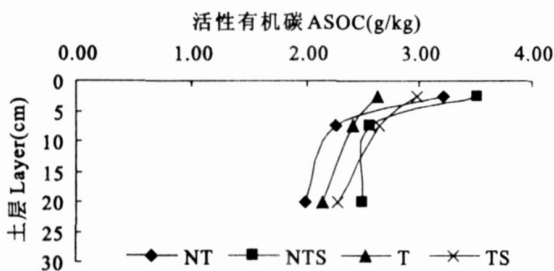


图 2 土壤活性有机碳的剖面分布特征 (g/kg)

Fig. 2 The profile distribution of ASOC in soils

2.3 活性有机碳和总有机碳比例的比较

土壤活性有机碳占土壤总有机碳的比例总体上不高,但是对于维持土壤肥力及土壤碳储量变化方面却很重要。一般认为土壤中活性有机碳占总有机

碳的百分率比活性有机碳的绝对含量更能体现土壤碳库的状况并且可以反映土壤有机碳的质量,活性有机碳所占的百分率越大,表示有机碳越易被微生物分解,质量也就越高^[3]。另外,由于土壤活性有机碳常与土壤总有机碳含量有较好相关性,因而采用活性有机碳占总有机碳百分率可以消除总有机碳含量差异对活性有机碳的影响^[1]。

表 3 耕作方式对土壤活性有机碳占总有机碳百分率的影响 (%)

Table 3 Effect on the percentage of ASOC in TOC in different tillages

处理 Treat ment	0~5cm	5~10cm	10~30cm
NT	28.16	20.78	19.89
NTS	30.42	23.65	24.53
T	24.21	23.70	21.08
TS	26.62	25.18	22.45

从表 3 可以看出, $0 \sim 5 \text{ cm}$ 土壤中活性有机碳与总有机碳的比率为 $\text{NTS} > \text{NT} > \text{TS} > \text{T}$, $5 \sim 10 \text{ cm}$ 是 $\text{TS} > \text{T} > \text{NTS} > \text{NT}$, $10 \sim 30 \text{ cm}$ 是 $\text{NTS} > \text{TS} > \text{T} > \text{NT}$ 。从土壤的剖面上来看,4 种耕作方式土壤活性有机碳与总有机碳的比率均呈现出随着土层深度增加而降低的趋势。

2.4 耕作方式对土壤碳库管理指数的影响

土壤碳库管理指数是反映土壤碳素动态变化灵敏而有效的指标^[1],通过对土壤碳库管理指数的分析,可以为增加土壤活性碳含量和土壤肥力提供量化依据。将传统耕作(T)作为对照,对不同耕作方式,不同层次的碳库管理指数进行了计算如表 4。从表 4 的结果可以看出:碳库活度(A)、活度指数(AI)、碳库指数(CPI)以及碳库管理指数(CPMI)的表现与土壤总有机碳、活性有机碳有着相似的规律。 $0 \sim 5 \text{ cm}$ 土层中 A、CPI、AI 和 CPMI 都是 $\text{NTS} > \text{NT} > \text{TS} > \text{T}$, 与对照 T 相比, NTS、NT、TS 三个处理的 CPMI 分别提高了 49.56% 、 29.20% 和 16.57% ; $5 \sim 10 \text{ cm}$ 土层中各处理对 A 影响顺序是 $\text{NTS} > \text{TS} > \text{T} > \text{NT}$, AI 是 $\text{NTS} > \text{TS} > \text{T} > \text{NT}$, CPI 为 $\text{TS} > \text{T} > \text{NTS} = \text{NT}$, CPMI 是 $\text{TS} > \text{NTS} > \text{T} > \text{NT}$, 与对照 T 相比, NTS、TS 的 CPMI 分别提高了 10.09% 和 12.33% , 但是 NT 降低了 6.99% ; $10 \sim 30 \text{ cm}$ 土壤中各处理对 A 的影响是 $\text{NTS} > \text{TS} > \text{T} > \text{NT}$, AI 是 $\text{NTS} > \text{TS} > \text{T} > \text{NT}$, CPI 为 $\text{TS} = \text{T} > \text{NT} > \text{NTS}$, CPMI 是 $\text{NTS} > \text{TS} > \text{T} > \text{NT}$, 与对照 T 相比, NTS、TS 的 CPMI 分别提高了 24.78% 和 8.56% , 但是 NT 降低了 7.75% 。在 $0 \sim 30 \text{ cm}$ 土层的平均值中,各个管理参数的变化趋势大致相同,即

A、AI 和 CP MI 均为 NTS > TS > NT > T, CPI 为 TS > NT = T > NTS。

表4 耕作方式对土壤碳库指数的影响(%)

Table 4 Effect on the soil C pool management index in different tillages

深度 Layer (cm)	处理 Treatment	A	AI	CPI	CP MI
0~5	NT	39.26	1.23	1.05	129.20
	NTS	43.80	1.37	1.06	145.63
	T	31.97	1.00	1.00	100.00
	TS	36.29	1.14	1.03	116.57
5~10	NT	29.71	0.96	0.97	93.11
	NTS	35.24	1.13	0.97	110.09
	T	31.06	1.00	1.00	100.00
	TS	33.68	1.08	1.04	112.33
10~30	NT	25.54	0.95	0.97	92.25
	NTS	35.30	1.32	0.95	124.78
	T	26.76	1.00	1.00	100.00
	TS	29.00	1.08	1.00	108.56
平均 Average	NT	31.50	1.05	1.00	104.85
	NTS	38.11	1.27	0.99	126.83
	T	29.93	1.00	1.00	100.00
	TS	32.99	1.10	1.02	112.49

注: A: 碳库活度; AI: 碳库活度指数; CPI: 碳库指数; CP MI: 碳库管理指数。

Note: A: activity; AI: activity index; CPI: carbon pool index; CP MI: carbon pool management index.

3 结论与讨论

1) 就进行秸秆覆盖或还田的两个处理(NTS和TS)来说,NTS更有利于土壤总有机碳含量的增加,这与其它研究结果一致^[1]。NT和T相比,NT总有机碳含量高于T,NT有利于土壤总有机碳含量的增加。不同土层,T与NTS、NT、TS相比总有机碳含量均较低,主要是由于T使下层土壤不断暴露于土壤表面,经干湿交替,改变了土壤环境状况(通气、水分、温度等),为土壤有机碳转化创造了有利条件。另外,T处理下作物的地上部分随收获而取走,使T处理土壤总有机碳明显降低。总体来看,NTS、TS、NT较T处理有利于土壤总有机碳含量的提高,并且秸秆覆盖或还田对土壤总有机碳含量的提高贡献作用大于耕作。

2) 土壤剖面总有机碳含量的变化表现为0~5 cm土层总有机碳含量明显高于5~10 cm和10~30 cm土层,这可能与有机物质的投入和作物凋落物的增加有关。

3) NTS、NT、TS在0~5 cm土层中活性有机碳含量均高于T,5~10 cm和10~30 cm土壤中NTS、TS处理活性有机碳含量也高于T处理。总体来看,NTS、NT、TS处理比T处理活性有机碳含量高,有助于土壤肥力的提高,其中NTS、TS的效果最为明显。究其原因可能是因为传统耕作导致土壤团聚体的破碎使潜在生物有效碳库裸露出来,活泼的有机碳不断地被矿化损失,同时又没有大量新的外源有机物补充,从而矿化过程新产生的易变土壤碳不能及时地成为有机-无机复合中心从而形成新的各级团聚体。另外,由于传统耕作导致不良的土壤结构,进而发生水蚀或风蚀,导致土壤活性有机碳减少。因此传统耕作会造成土壤活性有机碳含量的降低,这也预示着土壤肥力有效性的下降。土壤活性有机碳不仅影响土壤的肥力,而且还影响土壤的生态效应。土壤活性有机碳的生态效应主要讨论农业生产措施、季节、温湿度变化等对土壤活性有机碳的影响以及土壤活性有机碳与水体富营养比、温室气体排放的关系,同时这些因素也影响土壤有机碳稳定性^[13]。

4) 耕作方式对土壤活性有机碳含量在土壤剖面上分布的层次性较为明显,不同耕作方式的活性有机碳含量均随土层深度的增加而降低,但下降的幅度有所不同,T处理下降的幅度最小,可能与进行翻耕使得土壤混合较均匀有关。

5) 在0~5 cm土壤表层,NT、NTS、TS比T更有助于提高土壤活性有机碳占土壤总有机碳的百分率,尤以NTS的效果最为明显,说明NTS土壤碳素活性大、易转化。从土壤的不同层次来看,土壤活性有机碳占总有机碳比率从上到下总体上表现出下降的趋势。

Conteh研究认为^[13],农田土壤活性有机碳含量一般占总有机碳含量的9%~19.7%,同时土壤活性有机碳含量的变化并不与有机碳含量的变化成比例。本文中土壤活性有机碳占土壤总有机碳含量的比例较高的原因可能是因为,测定方法的不同,于荣在活性有机碳含量测定的方法中也证明了用0.2 N K₂CrO₇-1:3H₂SO₄静置6 h后测定的结果比333 mmol高锰酸钾氧化测定的结果高^[8]。

6) 对碳库各项管理指数来说,总体上秸秆覆盖或还田的贡献大于翻耕措施,说明对土壤进行秸秆覆盖或还田有利于土壤碳库管理指数提高。经过上述分析表明,土壤各项碳库管理指数对不同耕作方式下土壤中碳含量较为敏感,为不同耕作方式下土壤中的碳含量提供了量化的依据,对评价土壤有机

质和土壤肥力状况有重要的意义。因此,在不同耕作方式下土壤肥力的管理中土壤的各项管理指数值得重视和应用。

参考文献:

- [1] 沈宏,曹志洪,王志明.不同农田生态系统土壤碳库管理指数的研究[J].自然资源学报,1999,14(3):206-211.
- [2] 姜培坤,徐秋芳.施肥对雷竹林土壤活性有机碳的影响[J].应用生态学报,2005,16(2):253-256.
- [3] 李琳,李素娟,张海林,等.保护性耕作下土壤碳库管理指数的研究[J].水土保持学报,2006,20(3):106-109.
- [4] 王清奎,汪思龙,冯宗炜,等.土壤有机质及其与土壤质量的关系[J].生态学报,2005,25(3):513-519.
- [5] 王晶,朱平.施肥对黑土活性有机碳和碳库管理指数的影响[J].土壤通报,2003,34(5):394-397.
- [6] 倪进治,徐建民.不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响[J].植物营养与肥料学报,2001,7(4):374-378.
- [7] 南京农业大学.土壤农化分析,第二版[M].北京:农业出版社,1988.
- [8] 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.
- [9] 徐阳春,沈其荣,雷宝坤,等.水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响[J].应用生态学报,2000,11(4):549-552.
- [10] 王小彬,蔡典雄.土壤颗粒大小对水肥保持和运移的影响[J].干旱地区农业研究,1997,15(1):64-68.
- [11] 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.
- [12] 金峰,杨浩,赵其国.土壤有机碳储量及影响因素研究进展[J].土壤,2000,1(3):11-17.
- [13] Conte A, Lefroy R D B, Blair G J. Dynamics of organic matter in soils as determined by variations in $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratios and fraction by ease of oxidation[J]. Australian Journal of Soil Research, 1997, 36: 1049-1058.

Effect on soil active carbon and soil C pool management index of different tillages

WANG Jing¹, ZHANG Ren zhi^{2*}, LI Ai zong²

(1. Agronomy Faculty, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Based on the experiment of 6-year conservation tillage in Dingxi specific semiarid areas in the Loess Plateau. The total organic carbon (TOC) and active soil organic carbon (ASOC) of different tillage methods were studied, and the activity of carbon pool (A), activity index (AI), carbon pool index (CPI), carbon pool management index (CPMI) of different treatments were calculated. The results showed that the contents of TOC and ASOC in no till with straw mulching (NTS), conventional tillage with straw incorporated (TS), non-till without straw mulching (NT) were more than conventional tillage with no straw (T), and the contents of TOC and ASOC decreased with the soil depth. The percentage of ASOC in TOC was higher in NT, NTS and TS than T in 0~5 cm soil layer, especially in NTS. The result demonstrated that the activity of the carbon in soil of NTS was higher and could convert easily. Stubble return effect was more than tillage for m for different soil C pool management index, so stubble return was advantages to improving the soil C pool management index.

Key words: tillage method; total organic carbon; active soil organic carbon; carbon pool management index