

# 不同耕作措施对甘肃引黄灌区耕地土壤有机碳的影响

杨思存, 王成宝, 霍琳, 姜万礼, 温美娟

(甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070)

**摘要:** 为了探明不同耕作措施对甘肃引黄灌区耕地土壤有机碳的影响, 2014—2017 年在连续翻耕 8 a 的玉米地上设置翻耕 (CT)、旋耕 (RT)、深松 (ST)、免耕 (NT) 4 个单一耕作处理和翻耕-免耕 (CT-NT)、深松-免耕 (ST-NT) 2 个轮耕处理开展了研究。结果表明, 连续免耕 (NT) 显著增加了 0~40 cm 土层有机碳含量和有机碳储量 ( $P<0.05$ ), 平均比 CT 增加 4.45% 和 5.27%, 比 RT 增加 7.23% 和 8.50%; 连续深松 (ST) 也有较好的固碳效果, 在 4 个单一耕作措施中仅次于 NT; 连续翻耕 (CT) 和旋耕 (RT) 显著降低了土壤有机碳含量和有机碳储量 ( $P<0.05$ ), RT 的降低幅度大于 CT。CT-NT 和 ST-NT 2 个轮耕处理既有较好的固碳效果, 又符合当地农民操作习惯, 有机碳含量分别比 CT 增加 2.44% 和 4.82%, 比 RT 增加 5.12% 和 7.55%; 有机碳储量比 CT 增加 2.50% 和 5.47%, 比 RT 增加 5.64% 和 8.70%。不同耕作制度会使土壤有机碳发生层化, 但有机碳含量的层化更多表现在不同土层之间, 相同层次各处理之间变化不大; 而有机碳储量只在耕层以下发生了层化, 相同土层各处理之间也表现出比较明显的层化特征。因此, 综合分析认为, 任何一个单一耕作措施都有其局限性, CT-NT 和 ST-NT 是比较理想的耕作模式, 在该区域农业可持续发展中具有一定的应用价值。

**关键词:** 土壤; 有机碳; 耕作措施; 层化比; 甘肃引黄灌区

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.02.015

中图分类号: S158

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-02-0114-08

杨思存, 王成宝, 霍琳, 姜万礼, 温美娟. 不同耕作措施对甘肃引黄灌区耕地土壤有机碳的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(2): 114—121. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.02.015 <http://www.tcsae.org>

Yang Sicun, Wang Chengbao, Huo Lin, Jiang Wanli, Wen Meijuan. Effects of different tillage practices on soil organic carbon of cultivated land in Gansu Yellow River irrigation district [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(2): 114—121. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.02.015 <http://www.tcsae.org>

## 0 引言

引黄灌区地处甘肃中部, 地势平坦, 土地肥沃, 农田保灌率高, 是甘肃省重要的综合农业商品生产基地。但从 20 世纪 90 年代中期开始, 随着农业机械化水平的提高和小型耕作机具的普及, 长期单一的旋耕和浅耕作业导致耕层逐渐变浅及上层土壤粉化, 作物秸秆得不到合理还田利用, 小型农机具反复碾压及大水漫灌加剧了下层土壤沉积压实, 犁底层不断加厚, 导致耕层深度平均只有 16.5 cm、土壤容重普遍在  $1.4 \text{ g/cm}^3$  左右、紧实度超过 1 000 kPa。这种“浅、实、少”的耕层结构严重阻碍了作物根系的深层分布和水肥吸收功能, 致使作物水肥资源利用率降低、抗逆减灾能力和产出能力变弱, 制约了该地区作物高产稳产和耕地可持续利用<sup>[1]</sup>。本文的目的是研究不同耕作措施对甘肃引黄灌区耕地土壤养分供应能力的影响, 重点分析土壤有机碳的变化。

土壤有机碳 (SOC) 是土壤的重要组成部分, 在土壤肥力、农业可持续发展等方面起到重要作用, 不仅反

映了土壤质量的好坏, 也直接影响了土壤肥力和作物产量的高低, 同时也是减缓温室效应的重要途径之一, 其储量及动态平衡一直是农业与生态环境科学领域研究的热点问题<sup>[2-4]</sup>。耕作是对土壤有机碳影响最大的人为因素, 全球每年由于耕作损失的土壤有机碳约  $0.06\%$ <sup>[5]</sup>。在诸多耕作措施中, 翻耕被认为是引起农田土壤有机碳含量下降的重要因素, 其原因是翻耕破坏了农田土壤结构, 导致土壤透气性增加, 微生物活性提高, 从而加速了土壤有机碳的分解速度<sup>[6-7]</sup>。为此, 国际社会一直在努力寻求能减少碳排放的措施。世界粮农组织 (FAO) 在 2010 年第 22 届农业委员会会议上设立了全球土壤伙伴关系组织 (GSP), 法国农业部部长在 2015 年第 21 届联合国巴黎气候大会期间正式提出了“千分之四”计划, 目标都是通过计划参与者实施的各项行动, 增加土壤碳库以发展可持续的气候友好型农业<sup>[8]</sup>。基于此, 人们加大了对保护性耕作技术的研究, 认为保护性耕作减少了耕作带来的对土壤的翻动, 使深层土壤接触空气的机会减少, 土壤原有机质的氧化和矿化减弱, 土壤水分蒸发也减少, 而且, 残留于田间或另外覆盖于土壤之上的秸秆等有机物料的降解也使归还回土壤的有机碳数量增多, 可以不同程度地增加土壤有机碳储量<sup>[9]</sup>。但也有研究认为, 与传统翻耕相比, 免耕通常增加的土壤有机碳主要集中在土壤表层, 并不总是引起整个土体土壤有机碳

收稿日期: 2018-06-07 修订日期: 2018-11-13

基金项目: 农业部公益性行业 (农业) 科研专项 (201503117); 甘肃省农业科学院科技创新专项 (2015GAAS03) 资助

作者简介: 杨思存, 研究员, 主要从事土壤养分资源管理研究。

Email: yangsicun@sina.com

的增加<sup>[10-12]</sup>。而且长期免耕也会带来土壤紧实,成为制约作物持续高产、稳产的新问题。在此背景下,深松技术近年来逐渐在农业生产中被广泛采用<sup>[1]</sup>,成为改善长期旋耕、免耕农田土壤结构、恢复耕层深度、降低土壤容重、促进作物高产稳产的有效手段<sup>[13-15]</sup>,但其对土壤有机碳的影响如何,相关的研究报道还比较少。因此,本研究设置了4个单一耕作措施和2个轮耕措施,旨在通过4a的定位研究,来探讨不同耕作措施及其轮耕措施对土壤有机碳的短期影响,进而为建立适宜的翻耕、深松、免耕相结合的耕作制度体系提供科学依据。

## 1 材料与方法

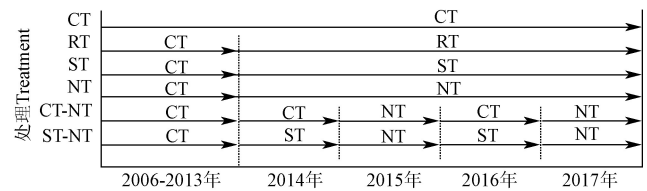
### 1.1 试验区概况

试验设在甘肃省靖远县北滩镇景滩村(37°05'N, 104°40'E),海拔1 645 m,是黄河水经提升480 m形成的新灌区,处在旱地农业向荒地牧地过渡线以北,属黄土丘陵沟壑干旱区,年平均降水量259 mm,蒸发量2 369 mm;年平均气温6.6℃,大于0℃和10℃的积温分别为3 208℃和2 622℃,无霜期160~170 d;年日照时数2 919 h,辐射量616.2 kJ/cm<sup>2</sup>。试验地土壤类型为灰钙土,质地为中壤,成土母质为洪积黄土,试验前8 a连续采用翻耕方式,种植作物均为玉米,播前耕层土壤(0~20 cm)有机质12.58 g/kg,全氮1.22 g/kg,全磷1.09 g/kg,全钾1.35 g/kg,碱解氮45.4 mg/kg,速效磷11.5 mg/kg,速效钾193 mg/kg, pH值8.25,容重1.43 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 试验设计

试验于2013年10月开始,在连续翻耕8 a的玉米地上设置翻耕(CT, 15~18 cm)、旋耕(RT, 10~13 cm)、深松(ST, 35~40 cm)、免耕(NT)4个单一耕作措施和翻耕-免耕(CT-NT)、深松-免耕(ST-NT)2个轮耕措施,每个处理重复3次,小区面积330 m<sup>2</sup>(33 m×10 m),种植作物为玉米(先玉335),密度7.5万株/hm<sup>2</sup>。试验地采用当地生产栽培条件下已经成熟的灌溉施肥制度,氮肥用尿素(含N46%),磷肥用磷二铵(含N18%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%),施肥量为氮肥(N)375.0 kg/hm<sup>2</sup>、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)150.0 kg/hm<sup>2</sup>,40%的氮肥和全部磷肥作为基肥,于播种前结合整地施入耕层,剩余60%氮肥于玉米拔节期结合灌水追施;试验地全年灌水5次,灌溉定额6 750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,灌水分配比例为出苗-拔节13%、拔节-抽雄22%、抽雄-乳熟25%、乳熟-成熟20%、冬灌20%。各耕作措施均在每年10月份玉米收获后实施,为防止第2年覆膜时深松、免耕处理的地膜被玉米根茬划破,并确保各处理留在土壤中的根系量相同,玉米收获时用铁铤沿地面将地上部整体移除。翻耕(CT)仍沿用以前的方式,用兰驼1LF型翻转犁,配置15 kW手扶拖拉机实施;旋耕(RT)用东方红1GQN-125型旋耕机,配置21 kW小四轮拖拉机实施;深松(ST)用沃野ISQ-340型全方位深松机,配置66 kW四轮拖拉机实施;免耕(NT)第二年春季用拓新2BYJ-7免耕施肥

播种机,配置40 kW四轮拖拉机实施。不同耕作措施实施后的耙耱、镇压、开沟覆膜等措施及田间管理同当地大田,试验处理流程见图1。



注: CT为翻耕, RT为旋耕, ST为深松, NT为免耕。下同  
Note: CT, conventional tillage; RT, rotary tillage; ST, subsoiling tillage; NT, no-tillage. The same as below.

图1 田间试验各耕作处理流程图

Fig.1 Tillage processing flowchart of field trials

### 1.3 取样与测定方法

土壤容重:采用环刀法,即用重量为 $M_0$ 、体积( $V$ )为100 cm<sup>3</sup>的环刀,分0~10、10~20、20~30和30~40 cm 4个层次采集原状土样,重复3次,密封带回实验室,在105℃下烘干24 h,冷却后称质量( $M_1$ ),则土壤容重(g/cm<sup>3</sup>): $P_b=(M_1-M_0)/V$ 。

土壤有机碳:2013—2017年秋季玉米收获时,各小区单独取样,每个小区分0~10、10~20、20~30和30~40 cm 4个层次多点取样混合,带回实验室自然风干,剔除石砾及植物残茬等杂物,磨碎,过0.25 mm筛,采用重铬酸钾(K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)外加热容量法测定有机碳含量。

### 1.4 有机碳储量计算

土壤有机碳(soil organic carbon, SOC)储量采用Ellert等<sup>[16]</sup>最初提出的等质量土壤有机碳储量计算方法,具体的计算公式为

$$M_{\text{element}} = M_{\text{soil}} \text{Conc} \times 0.1 \quad (1)$$

$$M_{\text{soil}} = P_b \cdot T \times 10 \quad (2)$$

式中 $M_{\text{element}}$ 为等质量土壤有机碳储量, t/hm<sup>2</sup>;  $M_{\text{soil}}$ 为单位面积各层次的土壤质量, t/hm<sup>2</sup>;  $\text{Conc}$ 为土壤有机碳含量, g/kg;  $P_b$ 为土壤容重, g/cm<sup>3</sup>;  $T$ 为土层深度, cm; 0.1和10为换算系数。根据公式可以得到各层土壤质量,即各层土壤容重及其相应的土层厚度乘积。以不同处理下土壤质量最大值作为统一的土壤质量。然后采用式(3)计算其他耕作处理方式下达到同质量的土壤需要另加的土壤深度。

$$T_{\text{add}} = (M_{\text{soil, equiv}} - M_{\text{soil, surface}}) \times 0.1 / P_{b, \text{subsurface}} \quad (3)$$

式中 $T_{\text{add}}$ 为要达到等质量土壤需要另加的亚表层土壤深度, cm;  $M_{\text{soil, equiv}}$ 为单位面积相等的土壤质量=最大的单位面积土壤质量, t/hm<sup>2</sup>;  $M_{\text{soil, surface}}$ 为表层(表层与亚表层是相邻的2个土层,若0~10 cm是表层, >10~20 cm即为亚表层;若10~20 cm为表层, >20~30 cm即为亚表层,以此类推)土壤质量, t/hm<sup>2</sup>;  $P_{b, \text{surface}}$ 为亚表层土壤容重, g/cm<sup>3</sup>。

如前所述,单位面积上等质量土壤SOC储量等于表层土壤SOC储量+需要另加的亚表层土壤深度的SOC储量。

## 1.5 有机碳层化比计算

有机碳层化比 (stratification ratio, SR) 是在同一土壤条件下, 表层有机碳与下层有机碳的比值, 能反映不同耕作方式下土壤质量的变化情况, 进而作为判断土壤演替方向的评价指标<sup>[17]</sup>。一般情况下, 有机碳层化比越高表明土壤质量越好<sup>[18]</sup>。Franzluebbers<sup>[17]</sup>阐述了有机碳层化比的计算及研究, 指出“土壤碳、氮的层化比可以作为土壤动态质量的评价指标, 且这个指标独立于土壤类型和气候以外”。本研究用土壤有机碳含量和等质量土壤有机碳储量计算了层化比, 分别用 Cc 和 esm 表示, 用 0~10 cm 土层有机碳含量或有机碳储量分别与 10~20、20~30、30~40 cm 土层有机碳含量或有机碳储量的比值, 作为土壤有机碳的层化比, 分别用 SR<sub>1</sub>、SR<sub>2</sub>、SR<sub>3</sub> 表示, 之所以选取 20~30 和 30~40 cm 是因为深松 (ST) 处理的最大耕作厚度达到了 40 cm。

## 1.6 数据处理

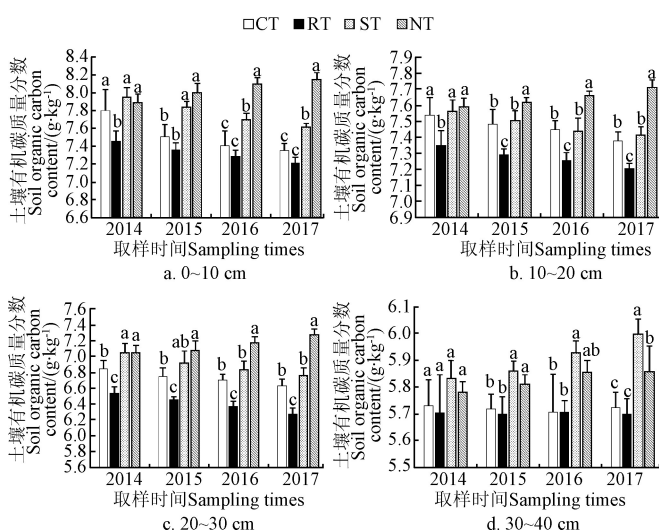
采用 WPS 2016 和 SAS8.0 统计分析软件进行试验数据分析和绘图, 多重比较用 LSD 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 单一耕作措施对土壤有机碳的影响

#### 2.1.1 对土壤有机碳含量的影响

单一耕作措施对 0~40 cm 土壤有机碳含量的影响见图 2。



注: 不同小写字母表示相同时期同一土层不同处理间差异达显著 ( $P<0.05$ ) 水平, 下同。

Note: Different small letters mean significant difference among different treatments at the same soil layer and the same time at 0.05 levels, the same as below.

图 2 单一耕作措施对土壤有机碳含量的影响

Fig.2 Effects of different single tillage practices on soil organic carbon content

在试验年份 (2014—2017), 连续免耕 (NT) 土壤有机碳含量一直呈增加趋势, 第 4 年时 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 土层平均增加 2.40%, 分别比 CT、RT 处理增加 4.45% 和 7.23%。连续深松 (ST) 处理呈上层下降、下层增加趋势, 0~30 cm 土层平均下降 3.40%, 30~40 cm 增加 2.86%, 但总体上分别比 CT、

RT 处理增加 2.28% 和 3.52%。连续翻耕 (CT) 和旋耕 (RT) 处理一直呈下降趋势, 第 4 年时 0~40 cm 土层分别平均下降 2.79% 和 2.32%。从不同土层有机碳含量变化来看, 0~10 cm 土层有机碳质量分数范围在 7.21~8.14 g/kg, 除第 1 年度 ST>NT 外, 后 3 年都是 NT 最高, 并在第 4 年达到最高值, 2 个处理在试验第 1、第 2 年差异不显著, 第 3 和第 4 年均达到差异显著水平 ( $P<0.05$ ); RT 处理在 4 个年度都是最低, 且在第 4 年达到最低值, 除第 1 年度显著低于 CT 外 ( $P<0.05$ ), 其他 3 个年度均未表现出差异显著性。10~20 cm 土层有机碳质量分数范围在 7.20~7.71 g/kg, 4 个年度都是 NT 最高、RT 最低, 且在第 4 年分别达到最高值和最低值; CT 略低于 ST, 但在 4 个年度均未表现出差异显著性。20~30 cm 土层有机碳质量分数范围在 6.28~7.28 g/kg, 与 10~20 cm 土层趋势基本相同, 只是在试验的第 1 年, CT 与 ST、NT 之间就表现出了显著差异 ( $P<0.05$ )。30~40 cm 土层有机碳质量分数范围在 5.70~6.00 g/kg, 4 个年度都是 ST 最高、RT 最低, 但 RT 与 CT 之间始终未表现出差异显著性, ST 与 NT 之间也是在试验第 4 年才表现出了显著性差异 ( $P<0.05$ )。

#### 2.1.2 对土壤有机碳储量的影响

单一耕作措施对 0~40 cm 等质量土壤有机碳储量的影响见表 1。在试验年份 (2014—2017), NT 处理 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 土层有机碳储量和 0~40 cm 土层有机碳总储量均呈增加趋势, 第 4 年时总储量平均增加了 4.92%, 分别比 CT、RT 处理增加 5.27% 和 8.50%。CT、RT 和 ST 处理 0~30 cm 土层有机碳储量呈下降趋势, 第 4 年时分别平均下降了 1.18%、0.62% 和 1.01%; 30~40 cm 呈增加趋势, 分别增加了 2.88%、2.90% 和 5.08%; 从 0~40 cm 土层有机碳总储量来看, 3 个处理年度间基本维持不变, 变幅只有  $\pm 0.3\%$ ; 但从处理之间来看, ST 分别比 CT、RT 处理增加 4.03% 和 7.22%。

表 1 单一耕作措施对土壤有机碳储量的影响

Table 1 Effects of single different tillage practices on organic carbon storage

采样时间 Sampling times	处理 Treatments	有机碳储量 Organic carbon storage/(t·hm <sup>-2</sup> )				
		0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	合计 Total
2014 年	CT	10.03 a	9.86 ab	9.94 ab	8.33 a	38.15 a
	RT	9.60 a	9.24 b	9.56 b	8.29 a	36.69 b
	ST	10.22 a	10.15 a	10.30 a	8.47 a	39.14 a
	NT	10.14 a	10.22 a	10.29 a	8.40 a	39.05 a
2015 年	CT	9.88 a	9.95 ab	9.86 bc	8.38 b	38.08 bc
	RT	9.60 a	9.48 b	9.49 c	8.36 b	36.92 c
	ST	10.25 a	10.30 a	10.15 ab	8.58 a	39.28 ab
	NT	10.50 a	10.46 a	10.38 a	8.52 ab	39.86 a
2016 年	CT	9.69 c	9.92 a	9.90 b	8.50 b	38.01 b
	RT	9.36 c	10.03 a	9.48 c	8.50 b	37.38 b
	ST	11.71 a	10.09 a	10.15 b	8.79 a	40.74 a
	NT	10.67 b	10.39 a	10.64 a	8.71 ab	40.41 a
2017 年	CT	9.83 bc	9.75 b	9.89 b	8.57 b	38.03 c
	RT	9.59 c	9.20 c	9.43 c	8.53 b	36.75 d
	ST	10.15 b	10.06 ab	10.15 b	8.90 a	39.25 b
	NT	10.88 a	10.47 a	10.86 a	8.76 ab	40.97 a

从不同土层有机碳储量变化来看, 0~10 cm 土层有机碳储量在 9.36~10.88 t/hm<sup>2</sup>, RT 处理始终最低, 其次是 CT 处理, 试验第 1、第 2 年各处理间差异均不显著, 第 3 年 ST>NT、第 4 年 NT>ST, 且都达到差异显著水平 ( $P<0.05$ )。10~20 cm 土层有机碳储量在 9.20~10.47 t/hm<sup>2</sup>, 试验第 1、第 2 年 RT 显著低于其他处理 ( $P<0.05$ ), 第 3 年时各处理间差异不显著, 第 4 年时 NT 最高, 其次是 ST, 第三是 CT, 且显著高于 RT 处理 ( $P<0.05$ )。20~30 cm 土层有机碳储量在 9.43~10.86 t/hm<sup>2</sup>, 4 个年度都是 NT 最高、RT 最低, 从试验第 3 年开始 NT 显著高于 ST、CT 显著高于 RT ( $P<0.05$ ), 但 CT 与 ST 之间差异不显著。30~40 cm 土层有机碳储量在 8.29~8.90 t/hm<sup>2</sup>, 试验第 1 年各处理间差异不显著, 从第 2 年开始各层 ST 均显著高于 CT、RT ( $P<0.05$ ), 但 ST 与 NT、CT 与 RT 之间差异均不显著。0~40 cm 土层有机碳总储量在 36.69~40.97 t/hm<sup>2</sup>, 4 个年度都是 RT 最低, 试验第 3 年 CT 和 RT 显著低于 ST 和 NT ( $P<0.05$ ), 第 4 年 NT>ST>CT>RT, 且各处理之间均达到差异显著水平 ( $P<0.05$ )。

## 2.2 轮耕对土壤有机碳的影响

### 2.2.1 对土壤有机碳含量的影响

轮耕对 0~40 cm 土壤有机碳含量的影响见图 3。在试验年份 (2014—2017), CT-NT 处理有机碳含量呈波浪形上升趋势, 遇到翻耕年度均略有降低, 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 土层有机碳质量分数分别为 7.74~7.83、7.53~7.61、6.85~7.03 和 5.74~5.87 g/kg, 与同一年度相同土层 NT 处理相比平均降低了 1.81%, 但与 ST、CT 和 RT 处理相比分别平均增加了 0.11%、2.44%和 5.12%。ST-NT 处理有机碳含量一直呈增加趋势, 在这 4 个土层的有机碳质量分数分别为 7.93~7.99、7.60~7.72、7.11~7.19 和 5.87~6.08 g/kg, 与同一年度相同土层 NT、ST、CT 和 RT 处理相比分别平均增加了 0.47%、2.42%、4.82%和 7.55%。2 个轮耕处理的土壤有机碳含量相比较, 0~10 和 30~40 cm 土层在试验第 1、第 2 年差异不显著, 第 3、第 4 年 ST-NT 显著高于 CT-NT 处理 ( $P<0.05$ ); 10~20 cm 土层 ST-NT 在 4 个年度都略高于 CT-NT 处理, 但达不到差异显著水平; 20~30 cm 土层 ST-NT 在 4 个年度都显著高于 CT-NT 处理 ( $P<0.05$ )。

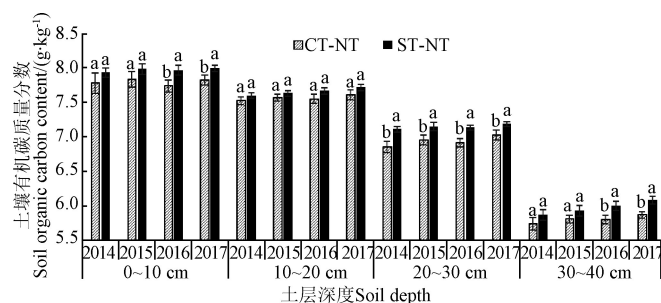


图 3 轮耕对土壤有机碳含量的影响

Fig.3 Effects of rotational tillage on soil organic carbon content

### 2.2.2 对土壤有机碳储量的影响

轮耕对 0~40 cm 等质量土壤有机碳储量的影响见表 2。在试验年份 (2014—2017), CT-NT、ST-NT 两个轮耕处理, 不管是 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 土层有机碳储量, 还是 0~40 cm 土层有机碳总储量都呈增加趋势, 与试验第 1 年相比, 第 4 年时 CT-NT 处理分别增加了 5.00%、2.47%、4.07%、5.15%和 4.13%, ST-NT 处理分别增加了 4.50%、2.75%、3.27%、5.95%和 4.04%。CT-NT 处理 0~40 cm 土层 4 个年度有机碳总储量的平均值与 NT、ST 处理相比分别降低了 1.47%和 2.63%, 与 CT、RT 处理相比分别增加了 2.50%和 5.64%; 而 ST-NT 与这 4 个处理相比分别增加了 0.19%、1.39%、5.47%和 8.70%。2 个轮耕处理的土壤有机碳储量相比较, 0~10、10~20、30~40 cm 土层 ST-NT 在 4 个年度都略高于 CT-NT 处理, 但达不到差异显著水平; 20~30 cm 土层在第 4 年 ST-NT 显著高于 CT-NT 处理 ( $P<0.05$ ); 0~40 cm 土层有机碳总储量 ST-NT 在 4 个年度都显著高于 CT-NT 处理 ( $P<0.05$ ), 4 年的平均增幅为 2.89%。

表 2 轮耕对土壤有机碳储量的影响

Table 2 Effects of rotational tillage on organic carbon storage

采样时间 Sampling times	处理 Treatments	有机碳储量    Organic carbon storage/(t·hm <sup>-2</sup> )				
		0~10	10~20	20~30	30~40	合计 Total
2014 年	CT-NT	9.98 a	9.95 a	9.95 a	8.34 a	38.21 b
	ST-NT	10.20 a	10.20 a	10.38 a	8.51 a	39.30 a
2015 年	CT-NT	10.28 a	10.27 a	10.10 a	8.51 a	39.17 b
	ST-NT	10.48 a	10.48 a	10.46 a	8.67 a	40.09 a
2016 年	CT-NT	10.13 a	10.03 a	10.14 a	8.63 a	38.93 b
	ST-NT	10.47 a	10.41 a	10.56 a	8.89 a	40.33 a
2017 年	CT-NT	10.47 a	10.20 a	10.35 b	8.77 a	39.79 b
	ST-NT	10.66 a	10.48 a	10.72 a	9.02 a	40.88 a

## 2.3 不同耕作制度的有机碳层化比

单一耕作措施和轮耕对不同土层有机碳含量、有机碳储量和土壤容重的影响不同, 进而导致上下层土壤有机碳的比值发生变化, 这也直观反映了不同耕作制度下土壤质量的演替方向。采用土壤有机碳含量和等质量土壤有机碳储量计算的层化比见表 3。可以看出, 相同年度、相同处理用 2 个不同指标计算的层化比基本一致, 但也略有差异。用有机碳含量计算的层化比  $SR_1$  介于 0.99~1.06 之间,  $SR_2$  介于 1.10~1.15 之间,  $SR_3$  介于 1.26~1.39 之间, 平均值分别为 1.03、1.13 和 1.33, 最高值与最低值之间相差 4.55%~10.32%,  $SR_3$  和  $SR_2$  的均值分别比  $SR_1$  高出了 29.12%和 9.32%, 说明有机碳含量在相同层次各处理之间也有变化, 但变化更明显的是不同土层之间的层化特征。用等质量土壤有机碳储量计算的层化比  $SR_1$  介于 0.93~1.16 之间,  $SR_2$  介于 0.98~1.15 之间,  $SR_3$  介于 1.10~1.33 之间, 平均值分别为 1.01、1.01 和 1.19, 最高值与最低值之间相差 17.35%~24.73%,  $SR_2$  与  $SR_1$  的均值相同, 但  $SR_3$  的均值比  $SR_1$  高出 17.82%, 说明有机碳储量在 30 cm 以上没有发生层化, 但在 30~40 cm 发生了层化, 同时, 相同土层各处理之

间也表现出比较明显的层化特征。

进一步分析结果表明, SR·Cc 的层化现象从试验第 1 年就表现出了显著差异 ( $P<0.05$ ), RT 处理的 SR<sub>1</sub>、SR<sub>3</sub> 在相同层次上明显低于其他处理, 到第 4 年时, 相同层次各处理之间均有显著差异, SR<sub>1</sub> 层化特征表现突出的

是 NT、ST-NT 处理, SR<sub>2</sub> 表现突出的是 RT、ST 处理, SR<sub>3</sub> 表现突出的是 NT、CT-NT 处理。SR·esm 的层化现象一直到第 3 年才表现出显著性差异 ( $P<0.05$ ), 到第 4 年时 SR<sub>1</sub>、SR<sub>2</sub> 各处理之间均未表现出显著差异, SR<sub>3</sub> 层化特征表现突出的是 NT 处理。

表 3 不同耕作措施下土壤有机碳层化比  
Table 3 Stratification ratio of soil organic carbon under different tillage practices

层化比 Stratification ratio	处理 Treatment	有机碳含量层化比 (SR·Cc)				有机碳储量层化比 (SR·esm)			
		Stratification ratio of organic carbon content				Stratification ratio of organic carbon storage			
		2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
SR <sub>1</sub>	CT	1.03 ab	1.00 b	0.99 d	1.00 c	1.02 a	0.99 a	0.98 bc	1.01 a
	RT	1.01 b	1.01 b	1.00 cd	1.00 c	1.04 a	1.01 a	0.93 c	1.04 a
	ST	1.05 a	1.04 a	1.03 ab	1.03 b	1.01 a	1.00 a	1.16 a	1.01 a
	NT	1.04 ab	1.05 a	1.06 a	1.06 a	0.99 a	1.00 a	1.03 b	1.04 a
	CT-NT	1.03 ab	1.03 a	1.03 bc	1.03 b	1.00 a	1.00 a	1.01 b	1.03 a
	ST-NT	1.04 ab	1.05 a	1.04 b	1.04 ab	1.00 a	1.00 a	1.01 b	1.02 a
SR <sub>2</sub>	CT	1.14 a	1.11 a	1.10 b	1.11 b	1.01 a	1.00 a	0.98 b	0.99 a
	RT	1.14 a	1.14 a	1.15 a	1.15 a	1.00 a	1.01 a	0.99 b	1.02 a
	ST	1.13 a	1.13 a	1.13 ab	1.13 ab	0.99 a	1.01 a	1.15 a	1.00 a
	NT	1.12 a	1.13 a	1.13 ab	1.12 b	0.99 a	1.01 a	1.00 b	1.00 a
	CT-NT	1.14 a	1.13 a	1.12 ab	1.11 b	1.00 a	1.02 a	1.00 b	1.01 a
	ST-NT	1.12 a	1.12 a	1.12 ab	1.11 b	0.98 a	1.00 a	0.99 b	0.99 a
SR <sub>3</sub>	CT	1.36 a	1.31 bc	1.30 bc	1.28 cd	1.20 a	1.18 a	1.14 bc	1.15 b
	RT	1.31 b	1.29 c	1.28 c	1.26 d	1.16 a	1.15 a	1.10 c	1.12 b
	ST	1.36 a	1.34 b	1.30 bc	1.27 d	1.21 a	1.19 a	1.33 a	1.14 b
	NT	1.36 a	1.38 a	1.38 a	1.39 a	1.21 a	1.23 a	1.22 b	1.24 a
	CT-NT	1.36 a	1.35 ab	1.34 b	1.33 b	1.20 a	1.21 a	1.17 bc	1.19 ab
	ST-NT	1.35 a	1.35 ab	1.33 b	1.31 bc	1.20 a	1.21 a	1.18 bc	1.18 ab

### 3 讨 论

#### 3.1 不同耕作制度下土壤有机碳含量及储量的变化

土壤耕作是加速土壤有机碳分解矿化的重要人为因素<sup>[19-21]</sup>。目前, 国际上关于耕作方式对土壤碳汇功能影响的研究主要集中在以少免耕和秸秆还田为主要内容的保护性耕作技术上, 多数学者认为保护性耕作可以有效增加土壤有机碳储量<sup>[3-7,22-23]</sup>, 但也有少数学者认为免耕处理下土壤中的有机碳主要集中于表层土壤中, 并随着土层加深而急剧减少, 而传统翻耕处理下的土壤有机碳垂直分布上相对均匀<sup>[10-12]</sup>。国内关于耕作方式的研究主要集中在翻耕、旋耕、免耕、深松等几种方式的单一对比上, 普遍认为翻耕和旋耕对土壤扰动大, 增加了土壤有机碳矿化, 降低了有机碳含量和储量; 而免耕和深松对土壤扰动小, 减少了深层土壤接触空气的机会, 增加了土壤有机碳含量和储量<sup>[24-27]</sup>。近年来, 国内学者也开始有了一些比较创新的研究思路, 就是考虑了耕作方式的变换 (轮耕), 不单纯强调单一免耕, 也不排斥传统翻耕, 而是考虑不同耕作方式的年际间组合, 也取得了一些创新性成果<sup>[13-14,25,28-29]</sup>。本研究表明, 在 4 个单一耕作措施中 NT 增加 0~40 cm 土层有机碳含量和有机碳储量的效果最显著, 其次是 ST, 而 CT 和 RT 显著降低了土壤有机碳含量和有机碳储量, 这与魏燕华等<sup>[24-27]</sup>的研究结果是一致的。设计的 2 个轮耕处理, 有机碳含量 ST-NT 处理持续增加、CT-NT 处理呈波浪形上升, 有机碳储量 2 个处理都一直增加, 这与孙国峰等<sup>[28-29]</sup>的研究结果也一致。从整体来看, CT、RT 处理田间操作简单, 但损失了土壤有机碳; ST、NT 处理增加了土壤有

机碳, 但在北方荒漠绿洲灌区覆膜种植条件下, 连续实施又增加了田间操作的难度。因此, 单一耕作措施不能满足灌区农业可持续发展的需要, 只有轮耕才能实现固碳目标。

#### 3.2 不同耕作制度下土壤有机碳的层化及其表征

土壤养分含量随土壤深度表现出的层化现象在许多自然生态系统和人工草原、森林十分普遍, 而且在通过保护性耕作修复、退还耕地的工作中也得到了证实<sup>[30]</sup>。自从 Franzluebbers<sup>[17]</sup>于 2001 年提出土壤有机质的层化比率计算方法后, 国内外很多学者根据该方法研究了不同耕作方式对土壤有机碳层化率的影响。Joao 等<sup>[18]</sup>认为免耕时间越久土壤层化现象越明显, Diaz-Zorita 等<sup>[31]</sup>认为免耕时间越长有机碳层化的厚度越深。孙国峰等<sup>[28]</sup>认为翻耕、旋耕降低了表层 0~5 cm 土壤有机碳含量, 提高了下层 5~20 cm 土壤有机碳含量, 进而降低了耕层土壤有机碳层化率。本研究采用土壤有机碳含量和有机碳储量 2 个指标分别计算了不同耕作制度下土壤有机碳的层化比, 结果表明土壤有机碳的层化现象从试验第 1 年就已经开始, 但 SR·Cc 在当年就表现出了显著差异, SR·esm 一直到第 3 年才表现; 有机碳含量的层化更多表现在不同土层之间, 相同层次各处理之间变化不大, 而有机碳储量只在耕层以下发生了层化, 相同土层各处理之间也表现出比较明显的层化特征。之所以出现这种差异, 我们认为主要是由计算方法不同所致, 计算 SR·Cc 采用的有机碳含量是直接数据, 而计算 SR·esm 采用的是等质量土壤有机碳储量, 是考虑了耕作处理间土壤容重差异的间接数据, 至于哪一种计算方法更能代表土壤有机碳的层化特征, 还需要开展更深入的研究。

## 4 结 论

1) 4 a 的定位试验结果表明,不同耕作措施对土壤有机碳含量和有机碳储量的影响是一致的,连续免耕(NT)显著增加了 0~40 cm 土层有机碳含量和有机碳储量( $P<0.05$ ),平均比 CT 增加 4.45%和 5.27%,比 RT 增加 7.23%和 8.50%;连续深松(ST)也有较好的固碳效果,在 4 个单一耕作措施中仅次于 NT;连续翻耕(CT)和旋耕(RT)都显著降低了土壤有机碳含量和有机碳储量( $P<0.05$ ),RT 的降低幅度大于 CT。

2) 与连续翻耕(CT)和旋耕(RT)相比,CT-NT 和 ST-NT 2 个轮耕模式既能显著增加土壤有机碳含量和有机碳储量,又符合当地农民操作习惯,有机碳含量分别比 CT 增加 2.44%和 4.82%,比 RT 增加 5.12%和 7.55%;有机碳储量比 CT 增加 2.50%和 5.47%,比 RT 增加 5.64%和 8.70%,是比较理想的耕作模式。

3) 不同耕作制度会使土壤有机碳发生层化,但有机碳含量的层化更多表现在不同土层之间,相同层次各处理之间变化不大;而有机碳储量只在耕层以下发生了层化,相同土层各处理之间也表现出比较明显的层化特征。

4) 用有机碳含量和有机碳储量计算的层化比略有不同,这种差异是由计算方法不同所致,原因是计算有机碳储量层化比时考虑了耕作处理间土壤容重的差异。

### 【参 考 文 献】

- [1] 李荣,侯贤清,贾志宽,等. 北方旱作区土壤轮耕技术研究进展[J]. 西北农业学报, 2015, 24(3): 1—7.  
Li Rong, Hou Xianqing, Jia Zhikuan, et al. Research advance in soil rotational tillage on dry farming areas in Northern China[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2015, 24(3): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [2] 余健,房莉,卞正富,等. 土壤碳库构成研究进展[J]. 生态学报, 2014, 34(17): 4829—4838.  
Yu Jian, Fang Li, Bian Zhengfu, et al. A review of the composition of soil carbon pool[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(17): 4829—4838. (in Chinese with English abstract)
- [3] Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change[J]. Geoderma, 2004, 123(1/2): 1—22.
- [4] Qin Z C, Huang Y. Quantification of soil organic carbon sequestration potential in cropland: A model approach[J]. Science China-life Sciences, 2010, 53: 868—884.
- [5] Dalal R C, Carter O R. Soil organic matter dynamics and sequestration in Australian tropical soils[J]. Advances in Soil Science, 2000, 4: 283—314.
- [6] Halvorson A D, Wienhold B J, Black A L. Tillage, nitrogen, and cropping system effects on soil carbon sequestration[J]. Soil Science Society of American Journal, 2002, 66: 906—912.
- [7] Chen L F, He Z B, Zhu X, et al. Impacts of afforestation on plant diversity, soil properties, and soil organic carbon storage in a semi-arid grassland of northwestern China[J]. Catena, 2016, 147: 300—307.
- [8] 程琨,潘根兴. “千分之四全球土壤增碳计划”对中国的挑战与应对策略[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(5): 457—464.  
Cheng Kun, Pan Genxing. Four per mille initiative: Soils for food security and climate" challenges and strategies for China's action[J]. Advances in Climate Change Research, 2016, 12(5): 457—464. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王燕,王小彬,刘爽,等. 保护性耕作及其对土壤有机碳的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 766—771.  
Wang Yan, Wang Xiaobin, Liu Shuang, et al. Conservation tillage and its effect on soil organic carbon[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(3): 766—771. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张海林,孙国峰,陈继康,等. 保护性耕作对农田碳效应影响研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(12): 4275—4281.  
Zhang Hailin, Sun Gguofeng, Chen Jikang, et al. Advances in research on effects of conservation tillage on soil carbon[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(12): 4275—4281. (in Chinese with English abstract)
- [11] Yang X M, Wander M M. Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in a silt loam soil in Illinois[J]. Soil and Tillage Research, 1999, 52: 1—9.
- [12] 张国盛,Chan K Y, Li G D, 等. 长期保护性耕作方式对农田表层土壤性质的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(6): 2722—2728.  
Zhang Guosheng, Chan K Y, Li G D, et al. Long-term effects of tillage systems and rotation on selected soil properties in cropping zone of Southern NSW, Australia[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2722—2728. (in Chinese with English abstract)
- [13] 孔凡磊,陈阜,张海林,等. 轮耕对土壤物理性状和冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 150—155.  
Kong Fanlei, Chen Fu, Zhang Hailin, et al. Effects of rotational tillage on soil physical properties and winter wheat yield[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(8): 150—155. (in Chinese with English abstract)
- [14] 侯贤清,贾志宽,韩清芳,等. 不同轮耕模式对旱地土壤结构及入渗蓄水特性的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 85—94.  
Hou Xianqing, Jia Zhikuan, Han Qingfang, et al. Effects of different rotational tillage patterns on soil structure, infiltration and water storage characteristics in dryland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural

- Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 85—94. (in Chinese with English abstract)
- [15] Gourley C J P, Sale P W G. Chemical and physical amelioration of subsoils has limited production benefits for perennial pastures in two contrasting soils[J]. Soil and Tillage Research, 2014, 144: 41—52.
- [16] Ellert B H, Janzen H H, Entz T. Assessment of a method to measure temporal change in soil carbon storage[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(5): 1687—1695.
- [17] Franzluebbers A J. Soil organic matter stration ratio as an indictor of soil quality[J]. Soil and Tillage Research, 2002, 66(2): 95—106.
- [18] Joao Carlos de Moraes Sa, Rattan Lal. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 103(1): 46—56.
- [19] Lenka N K, Lal R. Soil aggregation and greenhouse gas flux after 15 years of wheat straw and fertilizer management in a no-till system[J]. Soil and Tillage Research, 2013, 126: 78—89.
- [20] Pramod J, Nikita G, Lakaria B L, et al. Soil and residue carbon mineralization as affected by soil aggregate size[J]. Soil and Tillage Research, 2012, 121: 57—62.
- [21] Martinez E, Fuentes J P, Pino V, et al. Chemical and biological properties as affected by no-tillage and conventional tillage systems in an irrigated Haploxeroll of Central Chile[J]. Soil and Tillage Research, 2013, 126: 238—245.
- [22] Mrabet R, Saber N, El-Brahli A, et al. Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco[J]. Soil and Tillage Research, 2001, 57: 225—235.
- [23] West T O, Post W M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66: 1930—1946.
- [24] 魏燕华, 赵鑫, 翟云龙, 等. 耕作方式对华北农田土壤固碳效应的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(17): 87—95.
- Wei Yanhua, Zhao Xin, Zhai Yunlong, et al. Effects of tillages on soil organic carbon sequestration in North China Plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(17): 87—95. (in Chinese with English abstract)
- [25] 王旭东, 张霞, 王彦丽, 等. 不同耕作方式对黄土高原黑垆土有机碳库组成的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(11): 229—237.
- Wang Xudong, Zhang Xia, Wang Yanli, et al. Effects of different tillage methods on soil organic carbon pool composition in dark loessial soil on Loess Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(11): 229—237. (in Chinese with English abstract)
- [26] 姬强, 孙汉印, Taraqqi A K, 等. 不同耕作措施对冬小麦-夏玉米复种连作系统土壤有机碳和水分利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1029—1035.
- Ji Qiang, Sun Hanyin, Taraqqi A K, et al. Impact of different tillage practices on soil organic carbon and water use efficiency under continuous wheat-maize binary cropping system[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(4): 1029—1035. (in Chinese with English abstract)
- [27] 田慎重, 王瑜, 宁堂原, 等. 转变耕作方式对长期旋免耕农田土壤有机碳库的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(17): 98—105.
- Tian Shenzhong, Wang Yu, Ning Tangyuan, et al. Effect of tillage method changes on soil organic carbon pool in farmland under long-term rotary tillage and no tillage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(17): 98—105. (in Chinese with English abstract)
- [28] 孙国峰, 徐尚起, 张海林, 等. 轮耕对双季稻田耕层土壤有机碳储量的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(18): 3776—3783.
- Sun Guofeng, Xu Shangqi, Zhang Hailin, et al. Effects of rotational tillage in double rice cropping region on organic carbon storage of the arable paddy soil[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(18): 3776—3783. (in Chinese with English abstract)
- [29] 李娟, 李军, 程科, 等. 渭北旱塬玉米田保护性轮耕土壤固碳效果与增产增收效应[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 104—111.
- Li Juan, Li Jun, Cheng Ke, et al. Soil organic carbon sequestration, yield and income increment of rotational tillage measures on Weibei highland maize field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(5): 104—111. (in Chinese with English abstract)
- [30] 巩杰, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵区小流域植被恢复的土壤养分效应研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 93—96.
- Gong Jie, Chen Liding, Fu Bojie, et al. Effects of vegetation restoration on soil nutrient in a small catchment in hilly loess area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(1): 93—96. (in Chinese with English abstract)
- [31] Diaz-Zorita M, Grove J H. Duration of tillage management affects carbon and phosphorus stratification in phosphatic Paleudalfs[J]. Soil and Tillage Research, 2002, 66(2): 165—174.

## Effects of different tillage practices on soil organic carbon of cultivated land in Gansu Yellow River irrigation district

Yang Sicun, Wang Chengbao, Huo Lin, Jiang Wanli, Wen Meijuan

(Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** It is necessary to improve plough layer for solving the problems of shallow and compacted plough layer and plough layer lack, which are caused by a long-term single rotation and shallow tillage. In order to examine the effects of different tillage practices on soil organic carbon contents and storages, soil organic carbon stratification ratio of cultivated land, four single tillage treatments and two rotational tillage treatments were conducted including conventional tillage (CT), rotary tillage (RT), subsoiling tillage (ST), no tillage (NT) treatment and conventional tillage -no tillage (CT-NT), subsoiling-no tillage (ST-NT) in Gansu Yellow River irrigation district on continuous 8-year-tillage cornfields from 2014 to 2017. The results showed that the 0-40 cm layers organic carbon contents and storages of continuous no-tillage (NT) were significantly increased by 4.45% and 5.27% compared with CT, 7.23% and 8.50% compared with RT. Continuous subsoiling tillage (ST) also had a good carbon sequestration effect, second only to NT in four single tillage practice, the organic carbon contents and storages were significantly increased by 2.28% and 4.03% compared with CT, 3.52% and 7.22% compared with RT. Continuous conventional tillage (CT) and rotary tillage (RT) both significantly reduced soil organic carbon contents and storages, the decreases of soil organic carbon contents and storages were 2.79%, 2.32% and 1.18% , 0.62% respectively, and the reduction of RT were greater than CT. The two rotational treatments of CT-NT and ST-NT both had good carbon sequestration effect, and also accorded with the local farmers operating habits, the organic carbon contents were significantly increased by 2.44% and 4.82% compared with CT, and 5.12% and 7.55% compared with RT respectively, and the organic carbon storages increased by 2.50% and 5.47% compared with CT, and 5.64% and 8.70% compared with RT. The soil organic carbon were stratified by different tillage practices, the stratification of SR·Cc(stratification ratio of organic carbon content )showed significant difference from the first year, but the stratification of SR·esm (stratification ratio of organic carbon storage)came to this until the third year. The stratification of organic carbon contents were more manifested in different soil layers, the mean values of SR<sub>3</sub> and SR<sub>2</sub> were respectively higher 29.12% and 9.32% than those of SR<sub>1</sub>(The ratio of organic carbon content in soil layer of 0-10 cm to 10-20 cm), but there were little change between treatments at the same level. However, the organic carbon storages were stratified only below the topsoil, the mean value of SR<sub>2</sub> (The ratio of organic carbon storage in soil layer of 0-10 cm to 20-30 cm)same as SR<sub>1</sub>, but SR<sub>3</sub> (The ratio of organic carbon reserves in soil layer of 0-10 cm to 30-40 cm) was higher 17.82% than SR<sub>1</sub>. Moreover, the stratified characteristics were obvious among the same layers, RT was significantly lower and NT was significantly higher than other treatments at the same level. We consider the most typical reason for this situation was the soil bulk density between different tillage treatments in calculating the SR·esm. As for which calculation method can better represent the stratification characteristics of soil organic carbon, more in-depth research is needed. Therefore, any single tillage measure has its limitations, and the two rotational tillage treatments of CT-NT and ST-NT are ideal tillage practices, which had certain application value in this regional agricultural development.

**Keywords:** soils; organic carbon; tillage practice; stratification ratio; Gansu Yellow River irrigation district