

# 陇中旱地不同保护性耕作方式表层土壤结构和有机碳含量比较分析

罗珠珠<sup>1</sup>, 黄高宝<sup>1</sup>, 辛平<sup>2</sup>, 张国盛<sup>3</sup>

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省林业科学技术推广总站, 甘肃 兰州 730046;

3. 甘肃农业大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 在陇中黄土高原半干旱区进行保护性耕作定位试验, 研究了不同保护性耕作措施对表层土壤结构和有机碳含量的影响。结果表明: 与传统耕作(T)、传统耕作结合秸秆还田(TS)相比, 免耕秸秆覆盖(NTS)土壤容重在作物生长期保持稳定; 虽然两种序列 NTS 处理土壤总孔隙度较低, 但其  $>30 \mu\text{m}$  的非毛管孔隙度显著高于其它三种处理, W→P→W 序列(2002 年小麦→2003 年豌豆→2004 年小麦)NTS 处理分别比 T 处理、TS 处理和 NT 处理提高 3.605%、4.749%、3.338%; P→W→P 序列(2002 年豌豆→2003 年小麦→2004 年豌豆)NTS 处理分别比 T 处理、TS 处理和 NT 处理提高 2.834%、4.023%、2.728%; 就大团聚体( $>0.25 \text{ mm}$ )含量而言, W→P→W 序列下 T 处理、TS 处理、NT 处理和 NTS 处理分别为 7.412%、9.493%、9.098%、10.577%, P→W→P 序列下分别为 7.600%、10.027%、8.085%、9.933%, 且统计分析表明两种序列下 NTS 处理均与 T 和 TS 两处理差异显著。同时发现, NTS 处理可显著增加土壤有机碳含量, 两种序列下分别比 T 处理增加 0.958 g/kg 和 1.045 g/kg, 而单一的免耕(NT)或覆盖(TS)效果并不显著。

**关键词:** 保护性耕作; 黄土高原; 土壤结构; 有机碳

**中图分类号:** S152.4; S153.6<sup>+2</sup> **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)04-0053-06

土壤结构是维持土壤功能的基础。表层土壤结构在雨水打击或其它外力作用下受到破坏, 土壤团聚体支离破碎产生更小的可移动颗粒, 不仅易在土壤表面形成土壤结壳, 而且导致土壤团聚体构成比例失调以及团聚体稳定性下降, 从而进一步加剧地表径流和土壤侵蚀, 恶化土壤水热传输过程和养分保持供应过程。土地利用和土壤管理影响土壤结构及其性质, 其作用机制在于土壤有机碳含量的增加及其与物理风化过程如干湿交替和冻融过程的相互作用。而长期研究表明, 土壤有机碳水平的提高有利于土壤结构的形成和土壤稳定性的提高<sup>[1]</sup>。

长期以来, 耕作通过疏松和混匀土壤以及控制杂草等作用使农民获得更多的谷物。但是, 土壤耕作的负效应也十分明显, 主要是降低了土壤有机质含量以及结构的稳定性, 加剧了土壤的侵蚀, 造成土壤营养物质的流失。大量研究表明<sup>[2]</sup>, 保护性耕作对改善土壤结构具有显著作用, 突出表现是增加土壤水稳性团聚体含量或增加团聚体的稳定性, 改善土壤孔隙状况, 维持土壤毛管孔隙度的相对稳定。

因此, 于 2001 年开始, 我们在陇中黄土高原半干旱区的定西县李家堡乡进行了保护性耕作的定位研究, 旨在提高甘肃黄土高原西部雨养农业系统生产力及其可持续性。本文探讨了保护性耕作对表层土壤结构和有机碳的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试区概况

试验设在陇中黄土高原半干旱丘陵沟壑区的定西县李家堡乡麻子川村。试区属中温带半干旱区, 平均海拔 2 000 m, 年均太阳辐射 592.5 kJ/cm<sup>2</sup>, 日照时数 2 476.6 h, 年均气温 6.4℃,  $\geq 0^\circ\text{C}$  积温 2 933.5℃,  $\geq 10^\circ\text{C}$  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, 贮水性能良好; 0~200 cm 土壤容重平均为 1.17 g/cm<sup>3</sup>, 凋萎含水率 7.3%, 饱和含水率 21.9%。

收稿日期: 2007-06-21

基金项目: 中澳合作 ACIAR 资助项目(SMCN(LWR2)/1999/094); 甘肃省农牧厅资助项目(034046); 中国农村技术开发中心资助项目(0390993)

作者简介: 罗珠珠(1979—), 女, 甘肃天水人, 在读博士, 主要从事保护性耕作的研究。E-mail: luo\_zhzh@163.com.

通讯作者: 黄高宝, 男, 教授, 博士生导师。主要从事多熟种植、保护性耕作、节水农业和宏观农业的教学与研究工作。E-mail: Huanggb@gsau.edu.cn.

## 1.2 试验设计

试验共设 4 个处理,如表 1 所示。结合小麦、豌豆的年间轮作,为了加快研究进程,研究设计了小麦→豌豆(2002 年小麦→2003 年豌豆→2004 年小麦,简称 W→P→W)和豌豆→小麦(2002 年豌豆→2003 年小麦→2004 年豌豆,简称 P→W→P)两个轮作序

列,4 次重复,共 32 个小区,小区面积  $4\text{ m} \times 20\text{ m}$ ,随机区组排列。2001 年 8 月开始布置试验,所有秸秆还田处理全部覆盖小麦秸秆  $4\ 500\text{ kg}/\text{hm}^2$ (秸秆铡短至  $15\text{ cm}$ ),以后每年收获后所有秸秆归还原小区。

表 1 试验处理

Table 1 Treatments description

代码 Code	处理 Treatments	耕作方法 Description
T	传统耕作 Conventional tillage	作物收获后至冻结前三耕两耧。 The field is ploughed 3 times and harrowed twice after harvesting.
TS	传统耕作+秸秆还田 Conventional tillage with straw incorporated	耕作方式同 T,但结合第一次耕作将所有前作秸秆翻埋入土。 The field is ploughed and harrowed exactly as for treatment T, but with straw incorporated at the first plough. All the straw from the previous crop will be sent back to the original plot immediately after threshing and then incorporated into ground.
NT	免耕 No-tillage without straw cover	全年不耕作,播种时用免耕播种机一次性完成施肥和播种,收获后用 2,4-D 和草甘磷除草。 No-tillage throughout the life of the experiment, no straw cover. Sowing and fertilizing will be carried out simultaneity by no-tillage seeder. Round (glyphosate) and 2,4-D will be used to clean plots after harvesting.
NTS	免耕+秸秆覆盖耕作 No-tillage with straw cover	耕作、播种、除草方法同 NT,收获脱粒后将全部前作秸秆覆盖在原小区。 No-tillage throughout the life of the experiment. The ground is covered with straw of previous crop from August till next March. All the straw from previous crop will be sent back to the original plot immediately after threshing.

## 1.3 试验材料

供试作物为春小麦和豌豆。其中春小麦品种为定西 35,播种量  $187.5\text{ kg}/\text{hm}^2$ ;豌豆为绿农 1 号,播种量  $100\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。T、NT、TS、NTS 用中国农业大学研制的免耕播种机播种,春小麦行距  $20\text{ cm}$ ,豌豆行距  $22.5\text{ cm}$ ,播深均为  $7\text{ cm}$ 。春小麦播期为 3 月中旬,豌豆为同年 3 月下旬。本年度小麦各处理均施纯氮  $105\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,纯  $\text{P}_2\text{O}_5$   $105\text{ kg}/\text{hm}^2$ (尿素+二铵);豌豆各处理均施纯氮  $20\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,纯  $\text{P}_2\text{O}_5$   $105\text{ kg}/\text{hm}^2$ (二铵+过磷酸钙),所有肥料都作为基肥在播种时同时施入。

## 1.4 测定项目和方法

土壤容重采用环刀法;土壤孔隙度采用吸力盘法;土壤团粒结构采用湿筛法;土壤有机碳采用吸湿热法。

## 2 结果与分析

### 2.1 耕作方式对土壤容重的影响

容重是土壤物理性质的综合指标,一个系统对土壤物理性质的影响最终反映到土壤容重的变化上。容重作为土壤重要的物理性状,它影响到土壤的孔隙度与孔隙大小分配,以及土壤的穿透阻力,进而影响到土壤水肥气热条件与作物根系在土壤中的穿插<sup>[3]</sup>。实行少免耕后,是否会引起土壤板结而

影响作物生长,这是普遍关心的问题。

同一年内容重变化趋势表明(图 1,2):同年播种→收获,两种序列各处理的土壤容重都有增大趋势。即播种时土壤容重低,收获时高,这与作物生长对土壤容重的要求相符,也与李洪文等的研究结果一致<sup>[4]</sup>。收获→休闲,NTS 和 NT 处理基本维持稳定,而 T 和 TS 处理急剧下降,这是因为 NTS 和 NT 处理保持免耕,而 T 和 TS 处理进行了土壤耕作,使得土壤容重在短期内降低。但总体来看 NTS 和 NT 处理变化平缓,T 和 TS 两处理变幅较大,说明机械扰动的破坏使土壤的结构稳定性下降,而免耕充分利用了作物、土壤生物和土壤之间的相互作用,实现了“生物代耕”,进而保持了土壤生物对土壤结构的改良<sup>[5]</sup>。

### 2.2 耕作方式对土壤孔性的影响

土壤作为一个多孔介质是由碎散的、形状不规则且排列错综复杂的固体颗粒组成,多孔介质内孔隙的大小、形状与连通性各不相同,较大地影响着其中水分的运动性能。耕作措施改变了土壤的界面特征,其实质是改变了土壤的孔隙特征,即不同耕作措施所带来的各种效应,都可以归结为土壤孔隙的变化而引发的其它理化性能的改变。不同孔径孔隙的数量比例,更为直观地反映了不同耕作措施间土壤物理性状的变化<sup>[6]</sup>。

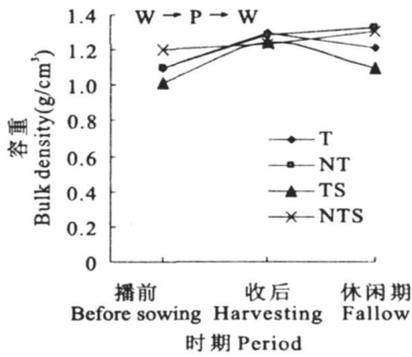


图 1 小麦地年内内容重变化(0~5 cm)

Fig.1 Variation of soil bulk density under spring wheat field

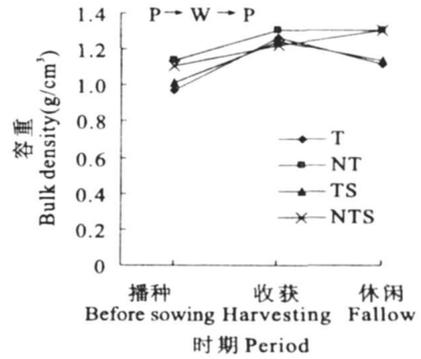


图 2 豌豆地年内内容重变化(0~5 cm)

Fig.2 Variation of soil bulk density under pea field

表 2 所示为 W→P→W 轮作序列(小麦地)各处理间的总孔度,分别为:T 处理 57.994%、NT 处理 58.295%、TS 处理 58.732%、NTS 处理 55.832%,以 NTS 处理最低,这说明免耕增大了土壤容重,同时也就减低了总孔度。以当量孔径 30 μm 划分,则表现为当量孔径 >30 μm 的孔度 NTS 处理显著高于其它处理 (P<0.05)。究其原因,在所有的孔隙级别中,直径>30 μm 的孔隙稳定性最差,其分布和连续性容易遭到外力的破坏,因此它的数量不稳定;而且土壤对耕作的反映随质地的不同也有差异,因而该结果有待于进一步研究。而 >30 μm 的孔度 NTS 处理低于其它处理,且与 TS 处理差异显著 (P<0.05)。因此,从总体趋势来看,NTS 总孔度低的原因应归因于当量孔径 <30 μm 的孔度低于其它处理而导致的。

表 2 小麦地土壤孔性(0~5 cm)

Table 2 Soil pore size under spring wheat field

处理 (Treatments)	W→P→W (%)		
	总孔度 (Total porosity)	<30 μm 孔度 (<30 μm porosity)	>30 μm 孔度 (>30 μm porosity)
T	57.994 <sub>a</sub>	31.194 <sub>ab</sub>	26.809 <sub>b</sub>
NT	58.295 <sub>a</sub>	31.219 <sub>ab</sub>	27.076 <sub>b</sub>
TS	58.732 <sub>a</sub>	33.066 <sub>a</sub>	25.665 <sub>b</sub>
NTS	55.832 <sub>a</sub>	25.417 <sub>b</sub>	30.414 <sub>a</sub>

注:不同小写字母代表统计检验 5% 水平差异。以下图、表同。

Note: Different lowercase letters stand for significance of 5%. The same indication was made in the following tables and figures.

表 3 所示 P→W→P(豌豆地)轮作序列下各处理间的总孔度,分别为:T 处理 59.684%、NT 处理 59.088%、TS 处理 61.680%、NTS 处理 56.212%,以 NTS 处理最低,且与 TS 处理差异显著 (P<0.05)。而以当量孔径 30 μm 划分,则表现为当量

孔径 >30 μm 的孔度 NTS 处理高于其它处理,而当量孔径 <30 μm 的孔度 NTS 处理低于其它处理,且与 TS 处理差异显著 (P<0.05)。这说明该轮作序列下耕作是影响孔隙分布的主要原因,而秸秆的影响不明显。

表 3 豌豆地土壤孔性(0~5 cm)

Table 3 Soil pore size under pea field

处理 (Treatments)	P→W→P (%)		
	总孔度 (Total porosity)	<30 μm 孔度 (<30 μm porosity)	>30 μm 孔度 (>30 μm porosity)
T	59.684 <sub>ab</sub>	32.880 <sub>ab</sub>	26.803 <sub>ab</sub>
NT	59.088 <sub>ab</sub>	32.179 <sub>ab</sub>	26.909 <sub>ab</sub>
TS	61.680 <sub>a</sub>	36.066 <sub>a</sub>	25.614 <sub>b</sub>
NTS	56.212 <sub>b</sub>	26.574 <sub>b</sub>	29.637 <sub>a</sub>

另外还发现,无论哪种处理,W→P→W 轮作序列当量孔径 >30 μm 的孔度均高于 P→W→P 轮作序列,而当量孔径 <30 μm 的孔度则小于 P→W→P 轮作序列。这说明轮作序列可以明显影响表层土壤的孔隙分布。

### 2.3 耕作方式对土壤团聚体的影响

土壤结构是指土壤中各种不同大小、形态和性质的土壤团聚体,通常将直径大于 0.25 mm 的称为大团聚体,小于 0.25 mm 的称为微团聚体。

由表 4 可知,W→P→W 轮作序列(小麦地)各处理 >2 mm 的水稳性团聚体含量分别为:T 为 0.738%、NT 为 1.873%、TS 为 1.130%、NTS 为 1.409%。统计发现 NT 处理显著高于其它处理 (P<0.05)。2~0.25 mm 的水稳性团聚体含量分别为:T 为 6.676%、NT 为 7.617%、TS 为 7.967%、NTS 为 9.167%,以 NTS 处理为最高,显著高于其它处理 (P<0.05)。而就 >0.25 mm 的大团聚体总体而言,NTS 处理显著高于 T 和 TS 处理。这说明免耕

已经对表层土壤的结构起到明显的改善作用,免耕由于避免了机械对土壤的扰动而维持了团聚体数量和结构上的稳定性;免耕的同时实施秸秆还田则进一步加强了这种改善作用,因为秸秆还田明显增加了土壤有机质含量,而有机质在团聚体形成过程中具有不可替代的作用,其作为重要的胶结物质特别有利于大粒径团聚体的形成与稳定。这与前人的研究结果一致,连续免耕 2~3 a 后,水稳性团聚体含

量增加<sup>[7]</sup>。也有人认为免耕地蚯蚓数量的优势是改善土壤团粒结构的重要原因,蚯蚓排泄等生物过程也能形成团粒结构。但 0.25~0.05 mm 的微团聚体含量和 <0.05 mm 的粘粒含量各处理之间差异不显著,则表明耕作方式的改变对微团聚体影响较小,因为较大级别的土壤结构体比低级别的结构体脆弱。因此,施加的外力趋于破坏大团聚体,而对较小级别的微团聚体没有影响。

表 4 小麦地土壤团聚体(0~5 cm)

Table 4 Soil aggregates under spring wheat field

处理 Treatments	W→P→W(%)				
	>2 mm	2~0.25 mm	0.25~0.05 mm	<0.05 mm	>0.25 mm
T	0.738 <sub>c</sub>	6.676 <sub>c</sub>	56.756 <sub>a</sub>	35.830 <sub>a</sub>	7.412 <sub>c</sub>
NT	1.873 <sub>a</sub>	7.617 <sub>bc</sub>	55.112 <sub>a</sub>	35.398 <sub>a</sub>	9.493 <sub>ab</sub>
TS	1.130 <sub>bc</sub>	7.967 <sub>b</sub>	57.325 <sub>a</sub>	33.577 <sub>a</sub>	9.098 <sub>b</sub>
NTS	1.409 <sub>b</sub>	9.167 <sub>a</sub>	55.963 <sub>a</sub>	33.461 <sub>a</sub>	10.577 <sub>a</sub>

由表 5 可知, P→W→P 轮作序列(豌豆地)T、NT、TS 以及 NTS 处理 >2 mm 的水稳性团聚体含量分别为 0.679%、1.794%、0.711% 和 1.591%。统计表明 NT 和 NTS 处理均显著高于 T 和 TS 处理 ( $P<0.05$ )。进一步说明免耕对表层土壤的结构起到明显的改善作用,而秸秆还田则加强了这种改善作用。2~0.25 mm 水稳性团聚体含量在 T、NT、TS 以及 NTS 处理间分别为 6.889%、8.232%、

7.404% 和 8.344%, 分析结果表明 NTS 和 NT 处理显著高于 T 处理 ( $P<0.05$ ), 而与 TS 处理差异不显著。而就 >0.25 mm 的大团聚体总体而言,也是 NT 和 NTS 处理显著高于 T 和 TS 处理 ( $P<0.05$ )。0.25~0.05 mm 的微团聚体含量表现为 T 处理显著高于 NT 处理 ( $P<0.05$ )。这说明耕作使得某些颗粒被粉碎了,或者耕作把下层土壤中的微团聚体带到了表层。

表 5 豌豆地土壤团聚体(0~5 cm)

Table 5 Soil aggregates under pea field

处理 Treatments	P→W→P(%)				
	>2 mm	2~0.25 mm	0.25~0.05 mm	<0.05 mm	>0.25 mm
T	0.711 <sub>b</sub>	6.889 <sub>b</sub>	57.533 <sub>a</sub>	34.865 <sub>a</sub>	7.600 <sub>b</sub>
NT	1.794 <sub>a</sub>	8.232 <sub>a</sub>	53.919 <sub>b</sub>	36.054 <sub>a</sub>	10.027 <sub>a</sub>
TS	0.679 <sub>b</sub>	7.404 <sub>ab</sub>	55.899 <sub>ab</sub>	36.018 <sub>a</sub>	8.085 <sub>b</sub>
NTS	1.591 <sub>a</sub>	8.344 <sub>a</sub>	55.902 <sub>ab</sub>	34.164 <sub>a</sub>	9.933 <sub>a</sub>

## 2.4 耕作方式对土壤有机碳的影响

土壤有机质是陆地碳储量的主要库,在保持土壤质量方面有重要的作用,是影响土壤其它功能的一个关键因子<sup>[8]</sup>。

由图 3 可以看出, W→P→W 序列(小麦地)各处理的总有机碳含量分别为: T 处理 8.182 g/kg、NT 处理 8.528 g/kg、TS 处理 8.658 g/kg 以及 NTS 处理 9.227 g/kg。统计分析表明 NTS 和 TS 处理显著高于 T 处理 ( $P<0.05$ ), 分别比 T 处理高出 1.05 g/kg 和 0.38 g/kg。说明作物秸秆的添加是导致小麦地 NTS 和 TS 处理土壤有机碳含量增

加的主要原因。据报道,每 667m<sup>2</sup> 覆盖 300 kg 的秸秆,相当于 2 g/kg 有机质<sup>[9,10]</sup>。另外,NTS 处理的总有机碳含量显著高于 TS 处理的 ( $P<0.05$ ), 表明作物秸秆残留在地表比通过耕作埋入土壤更有利于有机质的积累<sup>[11]</sup>; 而且免耕相比于传统耕作,由于其土壤管理方式的改变,使得土壤有机质达到了一个新的、更高一级的平衡状态,这样土壤有机质含量水平可大大提高<sup>[12]</sup>。究其原因即为免耕避免了对土壤的扰动,因而降低了土壤有机碳的矿化作用。有研究表明,在土壤表层(0~30 cm)有机碳初始含量 3.6 g/hm<sup>2</sup> 的情况下,一年内传统耕作中可以矿

化掉  $0.95 \text{ g/hm}^2$ , 而免耕仅矿化掉  $0.45 \text{ g/hm}^2$ [13]; 同时, 长期免耕不扰动土壤, 使得植物残体以及连年施入的有机肥主要积累在表土层中, 结果造成有机质与营养元素的表层富集; 而耕翻处理中, 植物残体以及连年施入的有机肥则随机械耕翻而均匀地分布于  $0\sim 20 \text{ cm}$  的耕层中, 由于稀释效应使  $0\sim 5 \text{ cm}$  土层中的有机碳降低[14]。也有研究认为[15~17], 耕作

扰动改变了分解作用的条件, 加快了呼吸速率, 从而导致土壤有机质含量下降; 而且耕作扰动也破坏了土壤团聚体, 使得被稳定吸附的有机质暴露而加速其分解。NT 处理的土壤有机碳含量虽高于 T 处理, 但差异不显著, 这极有可能是由于没有秸秆还田所致, 即一旦免耕与覆盖分离, 则不能提高有机质含量[18]。另外, 免耕的时间较短也可能是原因之一。

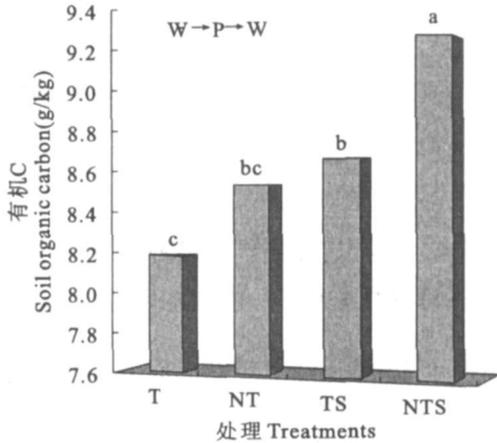


图3 小麦地土壤有机碳含量比较( $0\sim 5 \text{ cm}$ )

Fig.3 Comparison with soil total organic carbon under spring wheat field

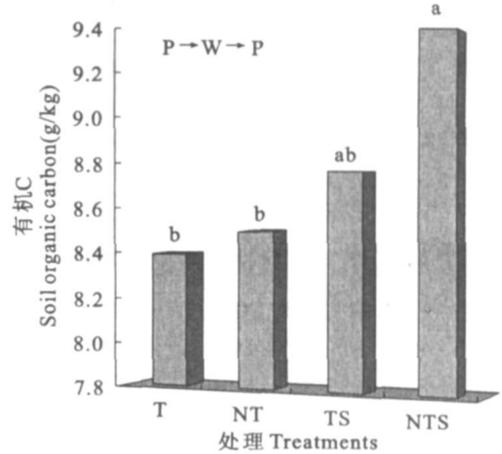


图4 豌豆地土壤有机碳含量比较( $0\sim 5 \text{ cm}$ )

Fig.4 Comparison of soil total organic carbon under pea field

由图4可以看出,  $P\rightarrow W\rightarrow P$  序列(豌豆地)各处理的总有机碳含量分别为: T 处理  $8.395 \text{ g/kg}$ 、NT 处理  $8.497 \text{ g/kg}$ 、TS 处理  $8.755 \text{ g/kg}$  以及 NTS 处理  $9.353 \text{ g/kg}$ 。NTS 处理的总有机碳含量高于其它处理, 但统计分析表明其与 T 和 NT 处理差异显著 ( $P<0.05$ ), 与 TS 处理差异不显著。而 TS 处理虽然有秸秆的添加, 但与 T 和 NT 处理差异均不显著, 这可能是该序列下秸秆还田量较少或所还田的秸秆种类所致。

mm 的粘粒含量各处理之间差异均不显著, 则表明耕作方式对微团聚体影响较小。

4) 就有机碳而言, 两种序列免耕覆盖处理显著高于传统耕作和免耕 ( $P<0.05$ ), 传统耕作和免耕之间无显著差异。说明免耕结合覆盖可以导致土壤有机碳含量增加, 而单独的免耕或覆盖效果并不理想。

### 3 结论与讨论

1) 免耕覆盖处理土壤容重在作物生长期较稳定, 而传统耕作条件下土壤容重变幅较大, 说明机械扰动的破坏使土壤的结构稳定性下降, 而免耕实现了“生物代耕”, 进而保持和积累了土壤生物对土壤结构的改良。

2) 两种序列土壤总孔度均以 NTS 处理最低。而就当量孔径  $>30 \mu\text{m}$  的非毛管孔度而言, NTS 处理高于其它处理。

3) 就大团聚体 ( $>0.25 \text{ mm}$ ) 而言, 两种序列下免耕覆盖处理均显著高于传统耕作和传统耕作结合秸秆还田 ( $P<0.05$ )。说明免耕已经对表土层的结构起到明显的改善作用。而两种序列下  $<0.05$

### 参考文献:

- [1] 彭新华, 张 斌, 赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 618-624.
- [2] 贾彦宙, 王俊英, 庞黄亚, 等. 土壤保护性耕作技术研究[J]. 内蒙古农业科技, 2002, 29(6): 12-13.
- [3] 庄恒扬, 刘世平, 沈 新, 等. 长期少免耕对稻麦产量及土壤有机质与容重的影响[J]. 中国农业科学, 1999, 32(4): 39-44.
- [4] 李洪文, 陈君达, 高焕文. 旱地农业三种耕作措施对比研究[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 7-11.
- [5] 方日尧, 同延安, 赵二龙, 等. 渭北旱原不同保护性耕作水肥增产效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 54-57.
- [6] 张海林, 秦耀东, 朱文珊. 耕作措施对土壤物理性状的影响[J]. 土壤, 2003, 35(20): 140-144.
- [7] 韩战省. 澳大利亚的保护性农业[J]. 山西农机, 1998, 16(3): 40-41.
- [8] Wolfgang Zech, Nicola senesi. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics [J]. Geo-

- derma, 1997, 79, 117-161.
- [9] 罗永蕃. 我国少耕与免耕技术推广应用情况与发展前景[J]. 耕作与栽培, 1990, 10(2): 1-7.
- [10] 高克昌. 旱地玉米整秸覆盖免耕试验[J]. 山西农业科学, 1992, 31(12): 4-6.
- [11] Ismail I, Blevins R L, Frye W W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields[J]. Soil Sci. Soc. Am. J. 1994, 58: 193-198.
- [12] 张志国, 徐 琪. 长期秸秆覆盖免耕对土壤某些理化性质及玉米产量的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 384-391.
- [13] 逢 蕾. 旱地免耕覆盖对土壤有机质的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2004.
- [14] 徐阳春, 沈其荣. 水旱轮作下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.
- [15] Campbell C A, Biederbeck V O, Mcconkey B G. Soil quality effects of tillage and fallow frequency [J]. Soil Biol Biochem., 1990, 31: 1-7.
- [16] Paustain K, Six J, Elliott E T. Management options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils[J]. Biogeochem, 2000, 48: 147-163.
- [17] Wood C W, Westfall D G, Peterson G A. Soil carbon and nitrogen changes on initiation of no-till cropping systems [J]. Soil Sci. Soc. A m. J, 1991, 55: 470-476.
- [18] 白大鹏, 赵建强, 陈明昌, 等. 整秸覆盖免耕条件下黄土高原旱地的养分消长研究[J]. 土壤学报, 1997, 34(1): 104-106.

## Effects of tillage measures on soil structure and organic carbon of surface soil in semi-arid area of the western Loess Plateau

LUO Zhu-zhu<sup>1</sup>, HUANG Gao-bao<sup>1</sup>, XIN Ping<sup>2</sup>, ZHANG Guo-sheng<sup>3</sup>

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

2. Gansu Forestry Science and Technology Extension Station, Lanzhou 730046;

3. Resources and Environment Faculty of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Field experiments were conducted in Dingxi on the western Loess Plateau to investigate the effects of conservation tillage on soil structure and organic carbon of surface soil in the rainfed farming system. The results showed that soil bulk density kept steady in no-tillage with straw cover (NTS) compared to conventional tillage (T), conventional tillage with straw incorporated (TS) and no-tillage (NT). Soil total porosity was lowest in NTS, but NTS increased  $>30 \mu\text{m}$  pores content by 3.605%, 4.749%, 3.338% in W→P→W rotation sequences and 2.834%, 4.023%, 2.728% in P→W→P rotation sequences compared with T, NT and TS, respectively. As far as water stable macroaggregates ( $>0.25 \text{ mm}$ ) was concerned, it was 7.412%, 9.493%, 9.098% and 10.577% in W→P→W rotation sequences and 7.600%, 10.027%, 8.085% and 9.933% in P→W→P rotation sequences for T, NT, TS and NTS, respectively. At the same time, soil organic carbon in NTS was 9.227 g/kg and 9.353 g/kg, being 0.958 g/kg and 1.045 g/kg higher than that of conventional tillage in two rotation sequences, respectively. That is to say, NTS can improve topsoil total organic carbon, which failed to be affected by NT or TS independently.

**Key words:** conservation tillage; loess plateau; soil structure; organic carbon