

# 不同保护性耕作措施对黄土高原旱作 农田土壤物理结构的影响

高建华,张承中

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院,陕西西安710055)

**摘要:**选取黄土高原半干旱区连续4年进行保护性耕作的玉米样地,定位试验,研究了不同耕作方式对耕层土壤理化性质的影响。结果表明:免耕秸秆覆盖(NTS)可显著降低0~5 cm表层土壤容重,传统耕作秸秆粉碎还田(TS)和NTS处理可显著降低5~10 cm、10~30 cm土层的土壤容重;NTS处理可显著增大0~5 cm表层土壤孔隙度,TS和NTS处理可显著提高5~10 cm、10~30 cm土层的土壤孔隙度;NTS处理可显著降低各层土壤的坚实度,其它处理对表层0~5 cm无显著影响,免耕无秸秆覆盖(NT)处理显著增加了5 cm以下的土壤坚实度;NTS处理0~5 cm表层土壤水分入渗率显著加强,而NT处理则显著减弱;土壤水稳性大团聚体含量均为:NTS>NT>TS>传统耕作(T)。本试验中NT处理对土壤结构的改良效应不明显,NTS处理对于黄土高原土壤结构改良效果最佳。

**关键词:**保护性耕作;黄土高原;免耕;秸秆覆盖

**中图分类号:** S155.4<sup>+</sup>3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0192-05

全球气候变暖引发世界学者采取各种管理措施缓解大气CO<sub>2</sub>温室效应。而土壤是陆地生态系统中最大而又最活跃的碳库,同时又是土壤肥力最重要的物质基础<sup>[1]</sup>。不同的土地利用和管理方式影响土壤理化性状,进而决定了土壤质量变化的方向和程度<sup>[2]</sup>。合理的土地利用和管理能够改善土壤的物理、化学和生物学性状,增强土壤对外界环境变化的抵抗力;否则,会导致土壤质量下降,增加土壤侵蚀,降低生物多样性、土地生产力和生物地球化学循环等<sup>[3]</sup>。大量研究表明,干旱半干旱地区土壤发挥着潜在的碳汇作用<sup>[4-6]</sup>。黄土高原干旱半干旱丘陵沟壑区,是我国乃至全球水土流失最严重的地区,平均每年注入黄河的泥沙达 $1.6 \times 10^9$  t。长期以来,水土流失不仅成为困扰该区可持续发展和农民脱贫致富的主要问题,而且也作为黄河下游地区带来了一系列的生态环境问题<sup>[7-9]</sup>。造成该区水土流失严重的主要原因之一,是旱作农田不合理的耕作措施。陡坡开垦、广种薄收,不仅未能提高农民的经济收入,反而进一步加剧了水土流失,致使形成了“越垦越穷,越穷越垦”的恶性循环。因此,从根本上解决由耕作方式引起的一系列问题,就必须对现有的耕作模式进行改革,建立可持续的耕作模式,而国内外广泛研究并推广的保护性耕作正是解决以上问题的有效措施和途径之一。以往对保护性耕作的研究,大多是从生产的角度出发考虑问题,侧重于如何提高产量、

降低成本和能耗等经济效益的研究。本研究通过对黄土高原旱作农田实施不同的保护性耕作措施,查明土壤物理结构的变化,为了解土壤的养分动态变化、土壤碳固定效应和土壤的生态过程提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验于2009年在甘肃农业大学定西旱农生态综合实验站进行。试区位于黄土高原干旱半干旱丘陵沟壑区,平均海拔2 000 m,年均太阳辐射591.89 kJ/cm<sup>2</sup>,日照时数2 476.6 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,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;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%。试验区土壤基本性质见表1。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 试验设计** 在保护性耕作示范基地选取至今已连续实行4 a保护性耕作的玉米田样地各4块(10 m×10 m),以邻近的长期进行传统犁耕(T)的4块玉米田样地(10 m×10 m)为对照,3个重复,所有地块除耕作方式外的其他栽培管理制度基本一致。

收稿日期:2010-01-10

基金项目:陕西省自然科学基金(2007D20);陕西省教育厅专项科研基金(06JK268)。

作者简介:高建华(1974—),男,陕西渭南人,在读博士生,主要研究方向为农田粉尘污染。E-mail: gaojhmax@sina.com。

传统犁耕为垄作、铧式犁翻耕(约 20 cm)、秸秆不还田。玉米种植时间为 5 月上旬,免耕施肥播种机播种玉米,品种为陕单 902,行距 55 mm,播种量 37.5 kg/hm<sup>2</sup>,施肥量:复混肥料玉米专用肥(玉米底施,一次追施)375 kg/hm<sup>2</sup>,除草剂:乙阿合剂,灌溉:苗期灌一次播种补水 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。保护性耕作为免

耕、免耕+秸秆均匀地覆盖于地表(覆盖率 100%)和秸秆粉碎后还田(500 g/m<sup>2</sup>)。作物收获后(2009 年 10 月),选取晴天,上午 10:00,在各地块采用多点混合法分别采取 0~5 cm、5~10 cm 和 10~30 cm 的土壤样品。该区属农牧交错区一年一熟制。具体试验处理见表 2。

表 1 试验区土壤基本性质

Table 1 Basic soil properties in the experiment field

土壤深度 Soil depth (cm)	机械组成 Mechanical composition			有机质 Organic matter (g/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	碱解氮 Available N (mg/kg)
	黏粒(%) Clay	粉粒(%) Silt	沙粒(%) Sand particle						
0~5	20.80	10.80	65.30	5.90	90.14	10.35	1.06	0.45	32.64
5~10	21.75	12.54	62.41	4.01	84.35	4.50	0.90	0.35	30.80
10~30	25.42	19.70	50.24	3.55	78.20	3.82	0.75	0.20	20.58

表 2 试验处理描述

Table 2 Treatments description

代码 Code	处理 Treatments	具体操作方法 Specific operation
T	传统耕作 Conventional tillage	作物收获后,翻耕,深度为 20 cm。 Ploughing the field with a depth of 20 cm after harvesting.
TS	传统耕作、秸秆粉碎还田 Conventional tillage with straw grinding into soil	耕作同时,将前茬作物秸秆粉碎翻入土中,其它同 T。 Ploughing the field as T with straw grinded and incorporated into the soil.
NT	免耕、无秸秆覆盖 No-tillage without straw covering	全年不耕作,播种机一次性播种施肥。 No-tillage throughout the period of the experiment, no straw covering, sowing and fertilizing simultaneously.
NTS	免耕+秸秆覆盖 No-tillage with straw covering	收获后全部秸秆均匀覆田,其它耕作同 NT。 No-tillage throughout the period of the experiment, covering the ground is with straw of previous crop from August till next March.

1.2.2 测定项目和方法 土壤容重采用环刀法;土壤总孔隙度由土壤容重和比重的结果计算得到,计算公式为: $\rho = (1 - \text{容重}/\text{比重}) \times 100\%$ ;土壤紧实度,采用土壤锥形紧实度仪法(CP20),测定深度为 40 cm;土壤饱和和导水率的测定采用圆盘渗透仪法;土壤水稳性团聚体的测定采用萨维诺夫湿筛法<sup>[11]</sup>。

1.2.3 试验数据处理 数据处理采用 Excel 2003 及 DPS 统计分析软件进行处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 保护性耕作对土壤容重的影响

土壤容重反应土壤空隙率和空气含量,其本身亦是土壤的肥力指标之一。土壤容重小,表明土壤

比较疏松,孔隙多;反之,则土体紧实,结构性差,空隙少。一般肥沃的耕层土壤容重在 1 g/cm<sup>3</sup> 左右,而紧密未熟化的新土,容重在 1.3~1.5 g/cm<sup>3</sup> 之间,坚实土壤的容重可达 1.8 g/cm<sup>3</sup>。由表 3 可知,在作物收获后,各处理的土壤容重随着土层的增加而增加。统计分析表明,在 0~5 cm 土层,NTS 土壤容重显著低于其它处理,其它处理间差异不显著;在 5~10 cm 土层,T 与 NT 差异不显著,其它处理间差异极显著;在 10~30 cm 土层,TS、NTS 差异不显著,其它处理间差异显著。由此可见,NTS 处理显著降低了表层土壤容重。

表 3 不同耕作方式下玉米地耕层土壤容重(g/cm<sup>3</sup>)

Table 3 Soil bulk density of different tillage practices in maize field

处理 Treatments	0~5 cm	5~10 cm	10~30 cm
T	1.20Aa	1.22Aa	1.24Bb
TS	1.19ABa	1.21Bb	1.22Cc
NT	1.19ABa	1.22Aa	1.25Aa
NTS	1.17Bb	1.20Cc	1.23BCc

注:同一行中不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P < 0.01$ )。下同。

Note: Different lowercase letters within each row represent significant difference at 0.05 level, while different capital letters within each row represent significant difference at 0.01 level. They are the same in the follows.

### 2.2 保护性耕作对土壤孔隙度的影响

表 4 显示,各处理的土壤总孔隙度随着土层的增加而减小,不同处理 0~5 cm 土层的土壤总孔隙度变化在 54.35%~55.34% 之间,变化幅度为 0.99%,统计分析表明,保护性耕作均显著提高了土壤总孔隙度,其中 NTS 处理差异达极显著;不同处理 5~10 cm 土层的土壤总孔隙度变化在 53.69%~

54.46%之间,变化幅度为 0.77%,统计分析表明,T 与 NT 差异不显著,其它处理间差异显著;不同处理 10~30 cm 土层的土壤总孔隙度变化在 52.59%~53.58%之间,变化幅度为 0.99%,TS 与 NTS 差异不显著,其它处理间差异极显著。这说明保护性耕作降低了土壤表层容重,同时也就增大了土壤总孔隙度。

表 4 不同耕作方式下玉米地耕层土壤孔隙度 (%)

Table 4 Soil porosity of different tillage practices in maize field

处理 Treatments	0~5 cm	5~10 cm	10~30 cm
T	54.35BCde	53.69Df	53.03Eh
TS	54.79Bb	54.13Ce	53.58Dfg
NT	54.68Bbc	53.69Df	52.59Fi
NTS	55.34Aa	54.46BCcd	53.36DEfg

2.3 保护性耕作对土壤坚实度的影响

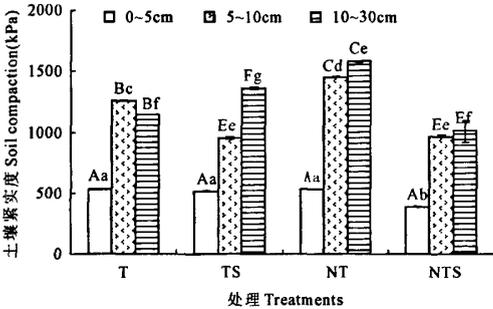


图 1 不同深度各处理土壤紧实度

Fig. 1 Soil compaction under different depth of treatments

土壤紧实度(坚实度)指柱塞或椎体插入土壤时与垂直压力相当的土壤阻力,又称穿透阻力,它与土壤的质地、结构特性及含水量大小有关,可以反应作物根系穿扎和生长的阻力。图 1 所示,不同耕作土壤紧实度,与处理 T 相比,同一深度变化不同。NT 处理的土壤紧实度比传统耕作处理的紧实度大,而 NTS 在几个处理中最低。0~5 cm NTS 的土壤紧实度显著低于其它处理,NTS 相对于 T、TS、NT 土壤紧实度比较小,差异达到显著水平。5~10 cm NT 显著高于其它处理。在 10~30 cm,NTS 显著低于其它处理。T、TS、NT、与 NTS 在 0~30 cm 土层的平均土壤紧实度依次为 979.15 kPa、947.84 kPa、1192.04 kPa、791.49 kPa。由此可见,本试验中,秸秆还田可显著降低 5~10 cm 土层土壤紧实度,免耕加秸秆覆盖可显著降低 0~30 cm 各个耕层的土壤紧实度。

2.4 保护性耕作对土壤水分入渗率的影响

由图 2 可知,T、TS、NT 与 NTS 在 0~5 cm 的土

壤水分入渗率分别为 76.67、75.33、67.67、89.00 mm/h。统计分析表明,除 T 处理与 TS 处理差异不显著外,其它处理间差异均达极显著水平(P < 0.01)。该结果表明:免耕覆盖可以显著提高表层土壤水分导水率,增加土壤水分入渗。如仅施行免耕,则显著降低了表层土壤导水率。

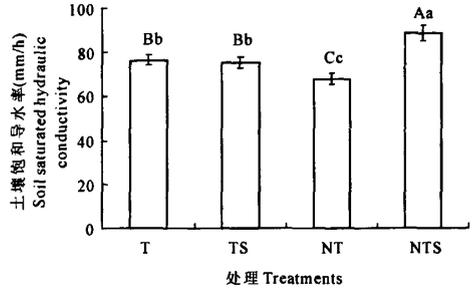


图 2 不同处理的土壤饱和导水率(0~5cm)

Fig. 2 Soil saturated hydraulic conductivity under different treatments

2.5 保护性耕作对土壤水稳性团聚体的影响

由表 5 可看出,不同的耕作方式对耕层土壤水稳性团聚体含量有很大影响。同一深度,保护性耕作均使不同大小的团聚体含量增多。0~5 cm 土层中,对于直径大于 2 mm、2~1 mm 的土壤团聚体含量,NTS 处理显著高于 T、TS 处理,TS、NT、T 处理间差异不显著;对于 1~0.5 mm 大小的团聚体,NTS 处理显著高于 T 处理,其它处理间差异均不显著;对于 0.5~0.25 mm 大小的团聚体,各处理差异不显著;对于大于 0.25 mm 的团聚体,NTS 显著高于 T、TS,其它处理间差异不显著。5~10 cm 土层,对于直径大于 2 mm 的团聚体含量,NT 显著高于 T 处理,其它处理间差异均不显著;对于 2~1 mm 大小的团聚体,NTS 与 NT、T 处理差异显著;对于 1~0.5 mm 大小的团聚体,NTS 处理显著高于 T、TS 处理;对于 0.5~0.25 mm 大小的团聚体,NT、T 处理间差异显著;直径大于 0.25 mm 的团聚体,NTS 显著高于 T,其它处理间差异不显著。10~30 cm 土层,对于直径大于 2 mm 的土壤团聚体含量,NT 处理显著高于 T 处理;团聚体大小为 2~1 mm、1~0.5 mm、0.5~0.25 mm、>0.25 mm,均为 NTS 显著高于 T 处理。

3 结论与讨论

容重作为土壤重要的物理性状,它影响到土壤的孔隙度,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分布<sup>[12]</sup>。实行保护性耕作后是否会引起表层土壤板结而影响作物生长,这是普遍关心的问题。保护性耕作对土壤容

表5 不同处理的土壤水稳性团聚体含量

Table 5 The content of water-stable aggregates of different treatments

土层(cm) Soil horizon	处理 Treatments	水稳性团聚体(%) Content of water-stable aggregates				
		> 2mm	2 ~ 1mm	1 ~ 0.5mm	0.5 ~ 0.25mm	> 0.25mm
0 ~ 5	T	0.86b	0.39b	8.52b	2.30a	12.07b
	TS	1.22b	0.53b	8.77ab	2.38a	12.90b
	NT	2.30ab	0.82ab	10.00ab	2.60a	15.72ab
	NTS	3.70a	1.48a	13.40a	3.12a	21.70a
5 ~ 10	T	0.84b	0.38b	5.62b	0.68b	7.52b
	TS	1.40ab	0.68ab	5.78b	1.46ab	9.32ab
	NT	2.42a	0.52b	6.66ab	1.76a	11.36ab
	NTS	1.58ab	1.15a	9.20a	1.47ab	13.40a
10 ~ 30	T	0.66b	0.36b	4.86b	1.20b	7.08b
	TS	0.94ab	0.46ab	6.66ab	1.29b	9.35ab
	NT	1.40a	0.43ab	7.20ab	1.54ab	10.57ab
	NTS	1.10ab	0.67a	8.45a	2.30a	12.52a

注:小写字母代表处理间统计检验  $P < 0.05$ 。

Note: Different small letters stand for significance at  $P < 0.05$  among treatments in same column.

重影响的研究结论存在很大差异<sup>[13]</sup>。Logsdon等<sup>[14]</sup>和Cassel等<sup>[15]</sup>的研究表明,免耕使表层土壤容重增大;Dao等<sup>[16]</sup>的研究结果则反之。本研究表明:免耕加秸秆覆盖可显著降低土层0~5 cm、5~10 cm、10~30 cm各层土壤容重;传统耕作加秸秆还田可显著降低5~10 cm、10~30 cm土层的土壤容重;免耕无秸秆覆盖在本试验中还未表现出明显的差别,可能是试验时间短所致,其效应还有待于长期研究<sup>[17]</sup>,而秸秆粉碎还田、表面覆盖作物秸秆,对降低土壤容重的效应相对明显。且NTS处理减少了土壤扰动,保护了表层土壤免受风蚀水蚀。其实际应用空间巨大。

孔隙是土壤物理性质的重要组成部分,它关系着土壤水、肥、气、热的流通和贮存以及对植物的供应是否充分和协调。表层土壤孔隙的分布及其连续性还决定着土壤的水力学特性,进而影响入渗、贮存和排水等物理过程,而且表层土壤中的大孔隙通常是植物根系穿插和水分以及空气运动的主要通道。本研究表明:NTS处理可显著增大0~5 cm表层土壤孔隙度;TS和NTS处理可显著提高5~10 cm、10~30 cm土层的土壤孔隙度。这也同样说明了作物有机残体的置入对表层耕作土壤的质量改善。值得注意的是,NT处理的10~30 cm土层的土壤孔隙度则显著降低。这可能是由于黄土耕层缺乏有机质置入,土壤沉积作用加重所致。

土壤坚实度是评价土壤抵抗侵蚀能力的重要参数之一。它与土壤粘聚力和土壤的孔性有关。本研

究表明:NTS处理可显著降低各层土壤的紧实度,其它处理对表层0~5 cm无显著影响。NT处理显著增加了5 cm以下的土壤紧实度,这与NT处理的10~30 cm土层的土壤孔隙度显著降低有关。

土壤的水分入渗率是表层土壤渗透性研究中重要的物理参数之一。土壤的导水率越大,土壤的渗透性越好。土壤渗透性是描述土壤水分入渗快慢的极为重要的土壤物理特征参数之一,也是反映土壤抗蚀性强弱的重要指标之一。土壤渗透性越好,地表径流就会越少,土壤流失量就相应减少。本研究表明:与T处理比较,TS对0~5 cm表层土壤水分入渗率无显著差异,NTS处理0~5 cm表层土壤导水率显著加强,而NT处理则显著减弱。这说明对于黄土高原旱作农田,并不是所有的保护性耕作措施均可提高土壤的导水性。如仅施行免耕,则显著降低了表层土壤水分入渗。NTS具有较好的渗透性能,有助于减小地表径流,为土壤贮存较多的水分,供作物的生长需要。另外,农田秸秆覆盖后,一方面在降水过程中能提高水分的入渗量,抑制了土壤水分蒸发,增加了秋收到土壤封冻期土层水向深层分布的机会,使土壤深层保蓄较多的水分,有利于植物根系利用。这与罗珠珠<sup>[18]</sup>、孙利军<sup>[19]</sup>等的研究结果一致。

土壤水稳性团聚体含量能够反映土壤保持和供应养分能力,了解水稳性团聚体的组成对探讨土壤肥力、土壤结构变化有着重要的理论和实践意义<sup>[20]</sup>。李辉信等的研究表明,土地利用方式不仅影

响土壤表层团聚体的组成、数量及质量,而且对表层以下不同深度的土壤团聚体也有较大影响<sup>[21]</sup>。本研究表明:土壤水稳性大团聚体含量均为:NTS > NT > TS > T。这说明 NTS、NT、TS 三个处理与传统耕作 T 处理相比,均有利于大于 0.25 mm 水稳性团聚体的形成,其中 NTS 效果最佳。

#### 参考文献:

- [1] 潘根兴,李恋卿,张旭辉.土壤有机碳库与全球变化研究的若干前沿问题——兼开展中国水稻土有机碳固定研究的建议[J].南京农业大学学报,2002,25(3):100—109.
- [2] 廖晓勇,陈治谏,刘邵权,等.三峡库区小流域土地利用方式对土壤肥力的影响[J].生态环境,2005,14(1):99—101.
- [3] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J].应用生态学报,2004,15(12):2292—2296.
- [4] Lal, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland[J]. Environmental Pollution, 2002,116:353—362.
- [5] Ards, J, Olsson, L. Assessment of soil organic carbon in semi-arid Sudan using GIS and the CENTURY model[J]. Journal of Arid Environments 2003,54:633—651.
- [6] Grtznweig, J M, Lin, T, Rotenberg, E, et al. Carbon sequestration in arid-land forest[J]. Global Change Biology, 2003,9:791—799.
- [7] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J].应用生态学报,2004,15(12):2292—2296.
- [8] 周萍,刘国彬,侯喜祿.黄土丘陵区铁杆蒿群落植被特性及土壤养分特征研究[J].草业学报,2008,17(2):9—18.
- [9] Shi, H, Shao, M A. Soil and water loss from the Loess Plateau in China[J]. Journal of the Arid Environments, 2000,45:9—20.
- [10] 土壤物理性测定委员会.土壤物理性测定法[M].翁德衡译.重庆:重庆科学技术文献出版社,1979:40—68.
- [11] 陈震,吴俊兰.土壤肥料理化性质简易测定法[M].北京:农业出版社,1980:31—32.
- [12] 庄恒扬,刘世平,沈新平,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.
- [13] 贾树龙,任图生.保护性耕作研究进展及前景展望[J].中国生态农业学报,2003,11(3):152—154.
- [14] Logsdon S D, Allmaras R R, Wu L, et al. Macroporosity and its relationship to saturated hydraulic conductivity under different tillage practices[J]. Soil Sciences Society of America Journal, 1990,54:1096—1101.
- [15] Cassel D K, Raczowski C W, Denton H P. Tillage effects on corn production and soil physical properties[J]. Soil Sciences Society of America Journal,1995,59:1436—1443.
- [16] Dao T H. Tillage and crop residue effects on carbon dioxide evolution and carbon storage in a paleustoll[J]. Soil Sciences Society of America Journal,1998,62:250—256.
- [17] 刘立晶,高欢文,李洪文.玉米—小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究[J].农业工程学报,2004,20(3):70—73.
- [18] 罗珠珠.保护性耕作对黄土高原旱地地表土容重和水分入渗的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):7—11.
- [19] 孙利军.黄土高原半干旱区保护性耕作经济适应性评价[J].干旱地区农业研究,2006,24(5):14—18.
- [20] 王清奎,汪思龙.土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J].土壤通报,2005,36(3):415—421.
- [21] 李辉信,袁颖红,黄欠如,等.不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳分布的影响[J].土壤学报,2006,43(3):422—426.

## The effects of different conservation tillage on soil physical structures of dry farmland in the Loess Plateau

GAO Jian-hua, ZHANG Cheng-zhong

(School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of different tillage practices (T: conventional tillage, TS: conventional tillage with straw incorporated, NT: no-tillage without straw covering, NTS: no-tillage with straw covering) on soil physical and chemical properties in plough layer, an experiment was conducted at corn plots with conservational tillage for four years in arid and semiarid areas of the Loess Plateau. The results showed that, NTS treatment may significantly reduce the soil bulk density of 0 ~ 5 cm layer, TS and NTS treatments may significantly reduce the soil bulk density of 5 ~ 10 cm and 10 ~ 30 cm layer; NTS can significantly increase the soil porosity of 0 ~ 5 cm layer, TS and NTS may significantly improve the soil porosity of 5 ~ 10 cm and 10 ~ 30 cm layers; NTS treatment may significantly reduce the level of soil compaction of each layer, and other treatments have no significant effects on the top 0 ~ 5 cm layer, while NT treatment significantly increases the soil compaction below 5 cm; NTS increases the soil hydraulic conductivity of 0 ~ 5 cm layer, while the NT treatment significantly reduces it; the content of large water-stable aggregates is listed as NTS > NT > TS > T. Based on our research, so NT treatment has no remarkable effect on the improvement of soil physical structures, while NTS treatment has the best performance.

**Keywords:** conservation tillage; loess plateau; no tillage; residue coverage