

毛乌素沙地南缘保护性耕作措施 对土壤物理性质的影响

雷金银, 吴发启, 马 璠, 马 波, 李荣标

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了探讨不同保护性耕作措施在毛乌素沙地南缘的区域适应性, 从 2004 开始, 以靖边县北部风沙区农田为研究对象, 选用了免耕、秸秆覆盖、覆膜和传统翻耕(CK)4 种措施, 采用完全随机试验设计进行了田间定位试验研究。比较分析了 4 种措施下土壤物理性质的变化规律。结果表明, 秸秆覆盖和免耕地的地温在春播初期略比传统翻耕低 0.1℃, 但随后迅速回升, 覆膜在玉米生长期都高于其他措施。耕作措施对播种前土壤容重没有显著影响, 而对收获后土壤容重影响显著, 与传统翻耕相比, 免耕降低了表层土壤容重 2.3%, 但次层 20~40 cm 容重增加了 1.8%。3 种保护性耕作措施均增加了土壤含水量, 顺序依次为秸秆覆盖>覆膜>免耕>翻耕, 且在作物需水关键期免耕和秸秆覆盖下的土壤含水量相对稳定。免耕和秸秆覆盖措施下初始入渗率和稳定入渗率都高于翻耕, 而覆膜低于翻耕。保护性耕作措施改善了土壤物理性质, 适于在该风沙区推广。

关键词: 保护性耕作; 土壤物理性质; 作物产量; 毛乌素沙地

中图分类号: S345 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0161-06

毛乌素沙地南缘农牧交错区, 农田以沙质土壤为主, 种植业以春玉米等一年一熟作物为主, 耕作方式采用传统的精耕细作。其工序复杂, 并对土壤进行了强烈的机械扰动, 导致土壤极易风蚀, 造成了土壤严重退化^[1]。寻求一种培肥保墒, 减轻土壤风蚀的耕作技术是该区实现农业可持续发展的当务之急。大量研究表明, 保护性耕作能够增加地表糙度, 减轻土壤风蚀, 防治土壤退化^[2~6]。藏英、高焕文等人^[7,8]在河北坝上研究表明保护性耕作措施在风沙区能够增加地表糙度, 有效地减少土壤风蚀。但是谢瑞芝和李少昆等人总结了 1994 到 2005 年我国保护性耕作的研究成果, 发现关于保护性耕作对土壤理化性质及作物产量等的影响说法不一^[9~15], 这可能是研究的方法、措施种类和区域等不同所致。因此, 要在一个地区采用保护性耕作, 就必须通过该地区的区域性特征的检验。

本文在农牧交错区农田防沙治沙项目的基础上, 为了研究不同耕作措施对土壤物理性质的影响, 在靖边县北部风沙区选择了典型的地块, 从 2004 年开始, 对风沙区保护性耕作进行了一系列试验研究。期望为该风沙区实施推广保护性耕作及防治土壤风蚀提供一定理论依据。

1 研究内容与方法

1.1 试验点概况

靖边县位处陕西省北部偏西(E108°17'~109°20', N36°58'~38°03'), 按地形特征可分为: 南部丘陵沟壑区和北部风沙滩原区。北部风沙区占全县土地面积的 35.6%。土壤以风沙土为主。该区属半干旱大陆性季风气候, 年降水量约 395.4 mm, 降水变率大, 相对降水变率达到 18%, 年均气温 7.8℃, 风大且频繁, 年平均风速为 3.2 m/s, 年平均风速≥5 m/s 的日数平均为 41.7 d, 各月最多风向为西北风, 平均频率为 20%。区内土壤侵蚀主要表现为土壤风蚀沙化。该区生态环境脆弱, 存在着土地沙漠化的潜在因子。

1.2 试验设计

2004~2006 年在靖边县进行了玉米保护性耕作试验研究。试验采用完全随机设计, 4 种处理方式: 免耕(NT)、秸秆覆盖(SM)、覆膜(PM)、传统翻耕(CK), 3 个重复, 总计 12 个试验小区。每个试验小区的面积为 4.0 m×50.0 m, 各小区施肥一致。为保证出苗, 播种前 4 天, 进行一次浇水, 播种时施(NH₄)₂HPO₄ 300 kg/hm² 为种肥, 在玉米生长中期和抽穗期分别追施 NH₄HCO₃ 300 kg/hm² 和 450 kg/hm²。用农药与除草

收稿日期: 2007-11-26
基金项目: 农业科技成果转化基金项目“陕北农牧交错区农田综合防沙技术中试与转化”(03EFN217100323)
作者简介: 雷金银(1981—), 男, 宁夏西吉人, 博士生, 主要从事土壤侵蚀及流域管理研究。E-mail: lejinyin@yahoo.com.cn。
通讯作者: 吴发启(1957—), 男, 陕西黄陵人, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与流域管理研究。E-mail: wufaqi@263.net。

剂来控制田间虫害及杂草。玉米品种为当地适宜品种 中单 2 号。试验区土壤基本性质见表 1。

表 1 试验区土壤基本性质
Table 1 Basic soil properties in experiment field

深度 Depth (cm)	机械组成(%) Particle size			容重 Bulk density (g/cm ³)	有机质 Organic matter (g/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	碱解氮 Available N (mg/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)
	粘粒 Clay	粉粒 Silt	砂粒 Sandy							
0~20	21.90	11.90	66.20	1.46	5.89	93.81	10.41	34.72	1.04	0.42
20~40	23.48	23.03	53.50	1.50	3.74	76.10	4.14	22.68	0.93	0.27

1.3 观测内容与方法

1.3.1 降雨量的变化特征 在试验区附近气象站收集了 2000~2006 年降雨资料,并分析在试验期内降雨量的变化特征。

1.3.2 土壤温度 土壤温度是影响作物生长的一个重要指标,本文采用套装地温表(入土深度为 5、10、15、20 和 25 cm)在玉米生长期内每 5 天测一次。然后分析不同耕作措施下土壤温度的变化特征与规律。

1.3.3 土壤含水量和土壤容重 土壤含水量和土壤容重是受耕作体系影响的重要土壤物理性质。为分析它们在不同耕作措施下的变化特征,土壤水分采用烘干法,取样深度以 20 cm 为间隔,共 5 层 100 cm。用环刀法测定土壤容重。

1.3.4 土壤入渗率 土壤入渗采用双环入渗仪测定^[16],环内部直径为 30.5 cm,外环 60.5 cm。直径环高 30 cm,插入地下 20 cm,地上留 10 cm。采用定水量(每次加水 50ml)逐加水次计时法测定不同耕作措施下不同时段土壤入渗速率,并用 kostiakov 入渗模型进行验证^[17]。

2 结果与分析

2.1 试验期内降雨量的变化特征

表 1 可以看出在 2004、2005 和 2006 年 3 年试验期间都比较干旱,年降雨量分别比平均降雨量降低了 12.2%、19.0%和 23.7%。2004 年生长期降雨量比较接近平均,而 2005 和 2006 两年分别降低了 12.9%和 25.1%。

表 2 试验区 2004~2006 年降雨量和生长期降雨量

Table 2 The precipitation at annual and planting period in study site from 2004~2006				
项目 Items	2004~2006 平均	2004	2005	2006
年降雨量(mm) Annual precipitation	386.44	339.2	312.9	294.8
生长期降雨量(mm) Rainfall during growth	322.56	319.0	281.1	241.7

2.2 不同耕作措施对土壤温度的影响

土壤温度是影响作物出苗、生长及产量的一个重要因素。试验期间的观测结果见图 1。由图可以看出,土壤温度随深度的增加而降低,大约在 20 cm 处为一个转折点,其下地温有回升的趋势。另外,不同耕作措施下地表温度高低不一,从 3 年平均来看秸秆覆盖最低 23.97℃、覆膜最高 25.34℃,免耕和翻耕居中,分别为 24.94℃和 24.38℃。不同措施下地温下降趋势也有所差异,其中秸秆覆盖变化的波动比较大,其他措施较稳定,这可能与覆盖均匀度有关。总体来看,秸秆覆盖、免耕和覆膜较对照相比,均能提高地温,其中覆膜影响显著,可提高 7.3%。

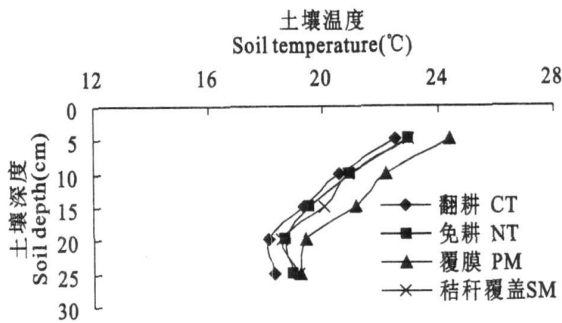


图 1 2004~2006 年 3 年平均土壤温度剖面变化
Fig 1 Mean temperature in the soil profile from 2004~2006 under different tillage treatments

除此特点以外,在作物生长期,由于受近地表气温与不同措施相互作用的影响,地温的变化也出现了差异,见图 2 所示。各种措施下土壤温度的变化波动大体一致,呈现出单峰的变化态势。但是,在玉米生长的各个阶段,不同耕作措施之间土壤温度变化是不一致的,在播种和出苗期(4~5 月)秸秆覆盖和免耕较低,比对照低了 0.1℃。在随后各个生长期(6~9 月)秸秆覆盖和免耕地温迅速回升,其中秸秆覆盖与覆膜基本达到一致,而免耕居中,对照地温最低,平均分别为 21.5、22.2、20.5、20.1℃。与对照相比,覆膜、免耕和秸秆覆盖的地温高且变化平

缓,具有保持和调节地温的作用。

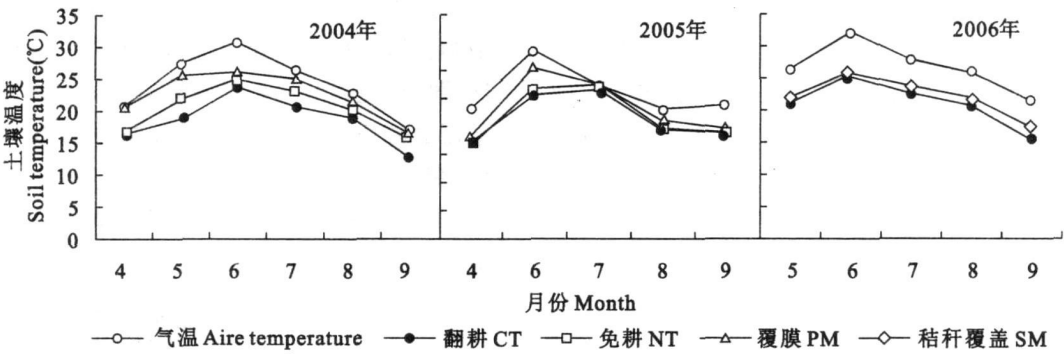


图 2 不同耕作措施下 0~25 cm 平均土壤温度随时间的变化
Fig.2 Mean monthly soil temperature of the 0~25 cm layer under different tillage treatments

2.3 不同耕作措施下土壤容重及含水量

2.3.1 土壤容重的变化 在一年一熟制的北方地区土壤容重受土壤水分,气候等因素的影响,要研究其变化规律必须从作物不同的生长期的变化入手。以往的研究多注重对不同措施某一阶段或整个阶段平均值的分析,得出的结论具有局限性。由表 2 可以看出,收获后土壤容重要高于播种前,原因在于经过一个生长期,在其自身重力作用及其他因素的影响下,土壤容重显著增加,但是经过冬春休闲期,在冻融及生物耕作作用下,土壤容重有所下降。耕作

措施对播种前土壤容重的影响不大,而对收获后影响显著。与对照相比,免耕和秸秆覆盖在表层 0~20 cm 处对土壤容重有降低作用,分别平均降低了 2.3% 和 6.8%。覆膜明显增高,甚至达到最高 (1.73 g/cm³),这与覆膜透气性差有关。次层 20~40 cm 免耕容重增加了 1.8%,在 2005 年出现最高值(1.77 g/cm³)。深层 40~60 cm 土壤容重基本不受耕作措施的影响。土壤层次对土壤容重有显著影响,表层 0~20 cm 容重与 20~40 cm 和 40~60 cm 有显著差异。

表 3 不同耕作措施下土壤容重在播种前、收获后的变化

Table 3 Effect of tillage treatment on soil bulk density before sowing and after harvest from 2004 to 2006(g/cm³)

措施 Measurements	土层 Soil depth (cm)	2004		2005		2006		平均 Average	
		播种前 Before sowing	收获后 After harvest	播种前 Before sowing	收获后 After harvest	播种前 Before sowing	收获后 After harvest	播种前 Before sowing	收获后 After harvest
免耕 No-till	0~20	1.46	1.52	1.49	1.57	1.48	1.52	1.48	1.54
	20~40	1.50	1.72	1.52	1.77	1.61	1.67	1.54	1.72
	40~60	1.51	1.53	1.52	1.52	1.58	1.60	1.54	1.55
覆膜 Film-mulching	0~20	1.46	1.61	1.46	1.73	1.51	1.70	1.48	1.68
	20~40	1.50	1.60	1.50	1.65	1.59	1.61	1.53	1.62
	40~60	1.51	1.53	1.54	1.50	1.59	1.55	1.55	1.53
秸秆覆盖 Stalk-mulching	0~20	—	—	1.43	1.45	1.47	1.48	1.45	1.47
	20~40	—	—	1.51	1.58	1.55	1.59	1.53	1.59
	40~60	—	—	1.59	1.60	1.64	1.60	1.62	1.60
翻耕 CK Conventional tillage	0~20	1.46	1.54	1.46	1.66	1.51	1.52	1.48	1.57
	20~40	1.50	1.71	1.51	1.72	1.60	1.64	1.54	1.69
	40~60	1.51	1.56	1.53	1.61	1.60	1.60	1.55	1.59
LSD _{0.05}									
措施 Measurement		0.021 _{ns}	0.024 _{ns}	0.028 _{ns}	0.035 ^{**}	0.027 _{ns}	0.020 ^{**}		
土层 Soil layer		0.017 ^{**}	0.020 ^{**}	0.024 ^{**}	0.030 ^{**}	0.023 ^{**}	0.018 ^{**}		
措施*土层 Measure*layer		0.030 _{ns}	0.041 ^{**}	0.048 [*]	0.061 ^{**}	0.046 [*]	0.035 ^{**}		

注: **表示在在 0.01 水平显著, *表示在 0.05 水平显著, ns 表示不显著。
(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

2.3.2 土壤含水量的变化 不同耕作措施对土壤含水量的多寡有很大的影响。由图 3 可以看出,除免耕外,其它措施的土壤含水量均有随深度增加,呈现出先增加后减少的趋势,大约在地表下 60 cm 处为一水分含量拐点。其中覆膜和秸秆覆盖变化幅度大。而免耕表现为先减小后增大再减小的趋势,分别以 40 cm 和 60 cm 为拐点。免耕在 0~40 cm 土层内土壤含水量减少,与对照相比减少了 2.3%。这可能与免耕根系密集在地表,增加作物吸水有关。

图 4 分析了 0~60 cm 土壤含水量月际变化规律。可以看出,除 2004 年由于降雨较多,土壤含水量变化比较均匀外,其它 3 年由于较为干旱,土壤含水量的变化差异显著。说明保护性耕作在干早期保持土壤水分的作用更加明显。4~5 月播种初期,经过冬季干旱,含水量较低,其中秸秆覆盖最高,翻耕最低,依次为秸秆覆盖>覆膜>免耕>翻耕,2007 年翻耕达到整个生长期最低含水量(3.15%); 5~6 月苗期需水量较少,土壤含水量在这期间有所回升,在拔节期(6~7 月)、灌浆期和成熟期(7~9 月)这几个作物关键需水时期,翻耕和覆膜土壤含水量明显急剧下降,翻耕最低(4.88%),而秸秆覆盖和免耕波动

小,保证作物需水并实现高产。随后由于秋后雨量的增加土壤含水量又有所增加,各措施含水量又表现为覆膜>秸秆覆盖>免耕>翻耕。与传统翻耕相比,覆膜、免耕和秸秆覆盖有明显的保水和调节水分平衡的特征,在整个玉米生育期内,土壤水量变化平稳,变幅分别在 6.5%~16.5%、7.9%~14.4%和 8%~12.3%以保证玉米关键期水量供需。而传统翻耕变化急剧,变幅分别为 4.4%~16.3%。

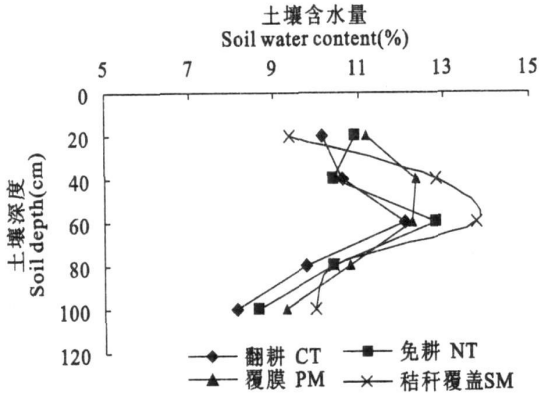


图 3 2004~2006 年不同耕作措施下平均土壤水分剖面分布
Fig.3 Mean soil water content from 2004 to 2006 under different tillage treatments

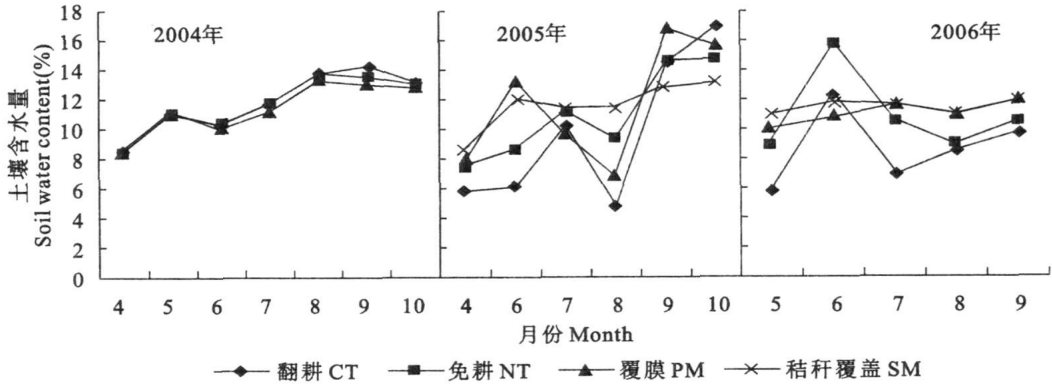


图 4 不同耕作措施下 0~60 cm 平均土壤含水量随时间的变化

Fig.4 Changes across time in the mean monthly soil water content from 0~60 cm under different tillage treatments

2.4 不同耕作措施下土壤入渗的影响

耕作措施对土壤入渗有显著的影响(见表 4),免耕和秸秆覆盖增加了水分入渗率,减少了达到稳定入渗的时间,而覆膜降低了水分入渗率,增加了入渗时间。相对于翻耕,免耕和秸秆覆盖分别提高了初始入渗率 1.91 和 2.86 倍,提高稳定入渗 1.94 和 1.89 倍左右,节省达到稳定入渗时间约 13.5%和 25.9%。覆膜初始入渗率和稳定入渗率分别比翻耕降低了 28.8%和 58.0%,延长达到稳定入渗时间约

40.0%。这与免耕和秸秆覆盖降低土壤表层容重,而覆膜增加土壤容重有关。经相关分析表明各种措施下水分入渗过程线与 kostiakov 模型($f_p = at^{-b}$)相符(见图 5)。不同耕作措施下水分入渗方程如下:

覆膜 $f_p = 93.743t^{-0.293}$ $R^2 = 0.9339$

翻耕 $f_p = 172.18t^{-0.5936}$ $R^2 = 0.9131$

免耕 $f_p = 198.54t^{-0.2933}$ $R^2 = 0.9294$

秸秆覆盖 $f_p = 214.89t^{-0.3578}$ $R^2 = 0.8082$

表 4 不同耕作措施对水分入渗率的影响

Table 4 Effects of different tillage mode on soil infiltration rate

措施 Measurements	初始入渗速率 Initial infiltration rate (mm/h)	稳定入渗速率 Equilibrium infiltration rate (mm/h)	达到稳定入渗时间 Time (Min)
翻耕 Conventional tillage	82.78	31.89	40.38
覆膜 Film-mulching	58.95	19.11	56.55
免耕 No-till	158.14	60.74	34.95
秸秆覆盖 Stalk-mulching	236.394	51.18	29.93

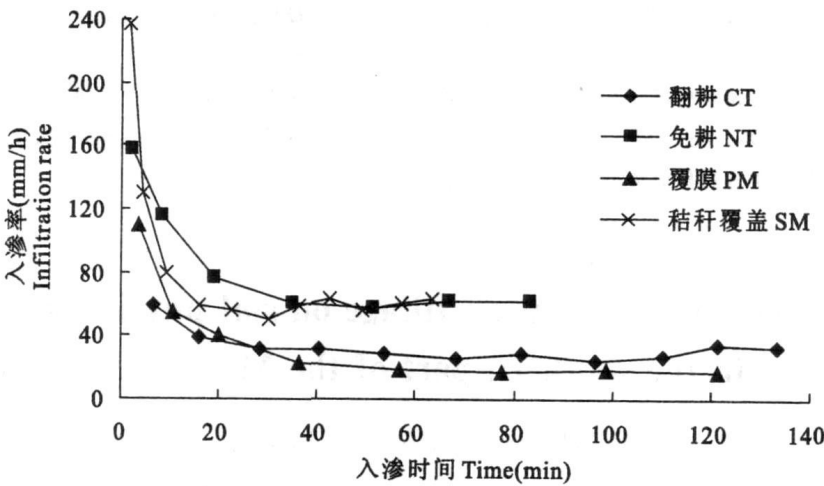


图 5 不同耕作措施下土壤入渗率与时间的关系

Fig.5 The relationship between soil infiltration rate and time for different tillage modes

3 结 论

1) 保护性耕作措施有明显提高和调节土壤温度的作用。各种措施下土壤温度都呈随深度增加而减小的变化趋势,到 20 cm 深度处有所回升。在整个试验期内覆膜始终高于其他措施,秸秆覆盖和免耕地温在播种初期略比对照低 0.1℃,此后其温度迅速回升。保护性耕作措施下,地温在生长季内变化波动小,利于作物生长发育。

2) 耕作措施对播种前土壤容重没有显著影响,而对收获后容重有显著影响。相对于对照,表层 0~20 cm 免耕和秸秆覆盖能够降低土壤容重,分别降低了 2.3%和 6.8%。覆膜增加了土壤容重。免耕增加了次层 20~40 cm 土壤容重 1.8%。深层 40~60 cm 不受影响。

3) 保护性耕作有保水和调节水量供需的作用。初春播种期翻耕土壤含水量最低,依次为秸秆覆盖>覆膜>免耕>翻耕。在作物需水关键期免耕和秸秆覆盖措施下土壤含水量稳定,保证作物需水。秸秆覆盖、覆膜和免耕在整个作物生育期内土壤含水量变化幅度小,变幅分别为 7.9%~14.4%、6.5%

~16.5%和 8%~12.3%。能有效抑制土壤水分损失,保证作物需水关键期的供水量。

4) 免耕和秸秆覆盖措施下的水分初始入渗率和稳定入渗率均比传统翻耕高。覆膜由于增加土壤容重,入渗率最低。该实验区土壤入渗过程线符合 kostiakov 模型。

参 考 文 献:

[1] 秦红灵,高旺盛,李春阳.北方农牧交错带免耕对农田耕层土壤温度的影响[J].农业工程学报,2007,23(1):40—47.

[2] Lopez M V, J L A rrue. Growth, yield and water use efficiency of water barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain[J]. Soil & Tillage Research. 1997, 44:35—54.

[3] Abbas Hemmat, Iraj Eskandari. Dry land winter wheat response to conservation tillage in a continuous cropping system in north-western Iran[J]. Soil & Tillage Research. 2006, 86:99—109.

[4] Fabrrize K P, Garcia F O, Costa J L. Soil water dynamic, physical properties and corn and wheat response to minimum and no-tillage systems in south pampas of Argentina[J]. Soil and Tillage Research, 2005, 81:57—69.

[5] Lal R. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria. I. Crop yield and soil physical properties[J]. Soil & Tillage Research. 1997, 42:145—160.

- [6] Moreno F, Pelegrin F, Fernandez J E. Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain[J]. Soil & Tillage Research, 1997, 41, 25—42.
- [7] 臧英, 高焕文, 周建忠. 保护性耕作对农田土壤风蚀的试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 56—60.
- [8] 胡立峰, 张立峰. 风蚀地区的保护性耕作探讨[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 219—221.
- [9] 谢瑞芝, 李少昆, 李小君, 等. 中国保护性耕作研究分析——保护性耕作与作物生产[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1914—1924.
- [10] 杨修春, 徐平, 刘连友, 等. 农牧交错带不同耕作模式土壤水分特征对比研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 125—129.
- [11] 常旭虹, 赵广才, 孟祥云, 等. 农牧交错区保护性耕作对土壤含水量和温度的影响[J]. 土壤, 2006, 38(3): 328—332.
- [12] 罗珠珠, 黄高宝, 张国胜. 保护性耕作对黄土高原旱地土壤容重和水分入渗的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 7—11.
- [13] 樊向阳, 齐学斌, 郎旭东, 等. 不同覆盖条件下春玉米田耗水特征及提高水分利用率研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 22(2): 60—64.
- [14] 何进, 李洪文, 高焕文. 中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 62—67.
- [15] 江晓东, 李增嘉, 侯连涛, 等. 少耕免耕对灌溉农田冬小麦/夏玉米作物水肥利用率的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 60—23.
- [16] 樊军, 邵明安, 王全九. 田间测定土壤导水率的方法研究进展[J]. 水土保持学报, 2006, 4(2): 114—119.
- [17] 梁学田. 水文学原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992. 71—87.
- [18] 王晓燕, 高焕文, 杜兵, 等. 保护性耕作的不同因素对降雨入渗的影响[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(6): 42—47.

The effects of conservation tillage on soil physical properties in the southern part of the MuUs desert

LEI Jin-yin, WU Fa-qi, MA Fan, MA Bo, LI Rong-biao

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi, 712100, China)

Abstract: Conservation tillage can reduce soil wind erosion and control soil degradation in sandy area. The objective of this field experiment was to compare the effects of four tillage measurements (no-till, stalk-mulching, film-mulching and conventional tillage) on soil physical properties the sandy soil region of northern Jingbian County, Shaanxi Province. The experiment began in 2004. A completely randomized design was used. The results showed that at early spring planting, soil temperatures were 0.1°C lower in the stalk-mulching and no-till treatments compared to the conventional tillage treatment. Soil temperatures were highest under film mulch. There was no significant difference in soil bulk density among the treatments before planting; however there was a significant difference among the treatments after harvest. Soil bulk density in the 0~20 cm layer was 2.3% lower in the no-tillage treatment compared to conventional tillage; however the bulk density in the 20~40 cm layer was 1.8% higher in the no-tillage treatment compared to conventional tillage. Soil water content decreased in the order stalk-mulching>film-mulching>no-till>conventional tillage. Both initial and equilibrium infiltration rate infiltrate rate are higher in conservation tillage than conventional tillage. In summary, the results show that conservation tillage methods improved soil physical properties and therefore could be implemented in the southern part of Mu Us desert.

Keywords: conservation tillage; soil physical property; crop yield; Mu Us Sand Land