

保护性耕作对风沙区农田土壤物理性状 及玉米产量的影响

张华英¹,刘景辉¹,赵宝平¹,王立文²,郝宏²,李敏¹

(1.内蒙古农业大学农学院,内蒙古呼和浩特 010018; 2.通辽市科左后旗农业技术推广中心,内蒙古通辽 028100)

摘要:在科尔沁沙地东南部风沙区采用完全随机区组试验设计,在2013—2014年比较研究了4种保护性耕作措施(深松、留茬、免耕、秸秆覆盖)和传统翻耕(CK)平作种植玉米的土壤物理性状及产量。结果表明,与传统耕作相比,连续2 a 保护性耕作以深松、留茬处理显著降低0~40 cm 土层土壤容重($P < 0.05$),降幅0.72%~7.12%。0~40 cm 土层>0.25 mm 土壤团聚体含量各土层均以深松处理含量最高,2014年土壤团聚体含量较2013年增加4.11%,其中秸秆覆盖对0~10 cm 团聚体含量影响较大,2014年较2013年提高5.54%。4种保护性耕作措施均提高了收获后0~100 cm 土壤贮水量,表现为留茬>秸秆覆盖>深松>免耕,较传统耕作提高12.22%~26.91%。进行保护性耕作的处理玉米子粒产量和水分利用率均比传统耕作高,其中以深松处理增产幅度最大,子粒产量平均较传统耕作提高14.57%,水分利用效率提高25.81%。由2 a 数据显示,深松、留茬和秸秆覆盖等保护性耕作措施改善了风沙土耕层土壤结构,具有较好的保水性和增产效果。

关键词: 保护性耕作;土壤物理性状;玉米产量;科尔沁沙地

中图分类号: S152.4; S316 **文献标志码:** A

Effects of conservation tillage on soil physical properties and corn yield in sandy soil

ZHANG Hua-ying¹, LIU Jing-hui¹, ZHAO Bao-ping¹, WANG Li-wen², HAO Hong², LI Min¹

(1. Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

2. Agricultural Technology Promotion Center, Tongliao Kezuohouqi, Inner Mongolia 028100, China)

Abstract: There was high frequency of serious windy soil erosion in the aeolian sandy soil area of Horqin. The soil water loss and the soil aggregate content went decreased severely. The objective of this field experiment was to compare the effects of four conservation tillage measurements (subsoiling, stubble, straw-mulching, and no-till) with the conventional tillage (CK) on soil physical properties and corn yield in the aeolian sandy soil region of southeast Horqin from 2013 to 2014. A completely randomized design was used to study the field location. The results showed that compared with the conventional tillage, among the four conservation tillage measurements, the subsoiling and stubble treatments reduced the soil bulk density significantly in the 0~40 cm layer in two years by 0.72%~7.12%. The highest proportion of >0.25 mm soil aggregate content in different soil layers was subsoiling. The soil aggregate content (>0.25 mm) in 0~40 cm layer became increased by 4.11% in 2014 from 2013. Straw-mulching had a greater impact on the soil aggregate content (>0.25 mm) in 0~10 cm layer, increased by 5.54 more in 2014 than 2013. Soil water storage in the 0~100 cm layer was increased by 12.22%~26.91% under the four conservation tillage in the order of stubble>straw-mulching>subsoiling>no-till. Corn yield and water use efficiency of different conservation tillage were higher than conventional tillage (CK). Subsoiling was the best treatment of all. The corn yield was increased by 14.57%, the water use efficiency became increased by 25.81% compared to the conventional tillage treatment. The two-year data indicated that subsoiling, stubble, straw-mulching could improve the aeolian sandy topsoil structure, water retention and crop yield.

Keywords: conservation tillage; soil physical property; cron yield; Horqin sandy land

收稿日期:2015-05-25

基金项目:公益性行业(农业)科研专项“东北地区黑土保育及有机质提升关键技术研究示范”(201303126)

作者简介:张华英(1990—),女,山西省洪洞人,硕士,研究方向为耕作制度与农业生态系统。E-mail: xiguazhy@sina.cn。

通信作者:刘景辉(1965—),男,内蒙古自治区通辽市人,博士,教授,博士生导师,主要从事耕作制度与农业生态系统研究。E-mail: cauljh@163.com。

科尔沁沙地属于典型的北温带半干旱风沙地区,并处于我国北方半干旱农牧交错区生态脆弱带内,其中沙地面积(流动沙地、半固定沙地和固定沙地)占总土地面积的43.1%,是科尔沁沙地面积最大、对生态环境影响起决定性作用的一种土地类型^[1],其含沙量大,因此土壤孔隙大,通气性强,发苗小^[2]。传统耕作模式下由于多次搅动土壤,水分散失严重,土壤风蚀沙化,土壤结构变坏,肥力下降,加之自然降水逐年减少,地下水位持续下降,农业生产面临严峻的挑战^[3],因此寻求一种适宜风沙区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,保护性耕作有改善农田作物生长环境方面的作用:有效提高农田水分利用效率;有效保持水土,大幅度地减少水土流失,减少大部分的田间起沙,降低农田地表土壤养分和水分的流失^[4-6];保护性耕作在减少对土壤扰动的同时,可以增加土壤有机质、减轻土壤水蚀^[7-8],同时还可增加土壤生物和微生物的数量和活性,最终达到扩大土壤“水库”容量、增加土壤入渗能力、培肥地力^[6],从而更有利于土壤物理质量的维持和提高,防治土壤质量退化,达

到作物增产增收的目的。

本试验以通辽市科尔沁左翼后旗风沙区农田为研究对象,开展了4种保护性耕作措施的长期定位试验研究,探讨保护性耕作措施对风沙区土壤物理性状的影响及其增产技术,为在该地区推广应用保护性耕作,防治土壤退化,实现风沙区农业可持续发展提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2013年5月—2014年10月在内蒙古通辽市科尔沁左翼后旗甘旗卡镇好力保村进行。试验地位于通辽市东南部,地处东经121°30′~123°42′,北纬42°40′~43°42′之间。气候属于北温带半湿润气候区向内蒙古温带半干旱气候区过渡的地带。年降水量259.5~483 mm,极端年最大降水量达597.4 mm,年降水主要集中在6—8月份,约占全年降水量的70%以上。2013年生育期内降水量589.1 mm,2014年生育期内降水量306.3 mm。日照资源丰富,日照时数2 800 h以上,年平均温度6.1℃。试验前茬作物为玉米。供试土壤耕层理化性状见表1。

表1 供试土壤耕层理化性状

Table 1 Soil properties of the experimental sites

土壤类型 Soil type	粘粒含量 < 0.001mm Clay content /%	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali-hydrolysis N /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P ₂ O ₅ /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K ₂ O /(mg·kg ⁻¹)
风沙土 Aeolian sandy soil	2.48	10.15	54.34	10.32	101.21

1.2 试验设计

供试作物为玉米,品种为NK718。试验采取随机区组设计,设深松、留茬、免耕、秸秆覆盖和传统耕作5个处理,具体耕作方式如下,每个小区面积75 m²(5 m×15 m),3次重复。试验施用种肥为复合肥(N:P₂O₅:K₂O=12:20:13)525 kg·hm⁻²;在玉米大喇叭口期追施尿素450 kg·hm⁻²。各处理种植密度均为72 000株·hm⁻²,全生育期内无灌溉,其它管理依当地习惯进行。

1.3 测定指标及方法

土壤容重:采用环刀法测定。用环刀取玉米收获后土壤,取样深度为100 cm,其中0~20 cm每10 cm为1层,20~100 cm每20 cm为1层。

土壤质量含水量:采用烘干法测定。用土钻钻取玉米收获后的土样,用铝盒装取,取样深度为100 cm,其中0~20 cm每10 cm为1层,20~100 cm每

20 cm为1层。测定方法用烘干称重法,每个重复取3个样。

土壤团聚体组成分析:(1)取样方法:于2013年9月25日玉米收获后及2014年9月30日玉米收获后,在0~10、10~20 cm和20~40 cm分3个土层采集原状土样,每个采样小区3个重复,同一深度的3个重复样品混合成1个样品,采样点呈“S”型分布。土壤样品采集后放在塑封袋内运回实验室,以免破坏团聚体。将原状土壤放于阴凉处风干后除去秸秆及小石块等杂物待用。(2)测定方法:将风干后的原状土样称200 g后,放入振荡式机械筛分仪最上层孔径为5 mm套筛中,下层套筛的孔径依次分别为2、1、0.5 mm及0.25 mm,最底层用底盒封底,最顶层盖筛盖,开启振荡式机械筛分仪,使其以1 400 r·min⁻¹的频率振荡1 min后停止,按从上到下的次序依次取筛,称其质量。

表 2 不同试验处理及种植方式

Table 2 The design of the experiment treatments

处理 Treatment	耕作方式 Farming methods
传统翻耕(CK) Conventional tillage	玉米收获时留茬 10~15 cm,其余秸秆全部收获,播前进行常规耕作,旋耕深度 15 cm。 Stubble for 10~15 cm at harvest, the rest straw take away, then ploughed for 15 cm depth before sowing.
深松 Subsoiling	玉米收获时留茬 10~15 cm,其余秸秆全部收获,播前采用深松机械,深度为 35 cm。 Stubble for 10~15 cm at harvest, the rest straw take away, then subsoiling for 35 cm depth before sowing.
秸秆覆盖 Straw mulching	玉米收获时留茬 10~15 cm,将剩余秸秆粉碎覆盖于地表,次年旋耕灭茬播种,覆盖量为 7 500 kg·hm ⁻² 。 Stubble for 10~15 cm at harvest, then mulch the kibbling straw 7 500 kg·hm ⁻² on the surface, ploughing for stubble cleaning and sowing.
留茬 Stubble	玉米收获时留茬高度 30 cm,其余秸秆全部收获,春季旋耕灭茬播种。 Stubble for 30 cm at harvest, the rest straw take away first, ploughing for stubble cleaning and sowing.
免耕 No-tillage	玉米收获时留茬 10~15 cm,其余秸秆全部收获,全年不耕作,播种时用免耕播种机一次性完成施肥和播种。 Stubble for 10~15 cm at harvest, the rest straw take away. No-tillage throughout the experiment. Sowing seeds and fertilization were performed with the no-tillage seeding-machine at the same time.

作物产量:玉米成熟后,各处理取 2 m² 进行理论测产,重复取样 3 次,待风干后脱粒称子粒重量,产量折成 14% 水含量。

水分产出率: $A = Y/ET$, 式中 A 为水分产出率 ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$), Y 为作物子粒产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), ET 为田间耗水量 (mm)。

水分利用效率: $WUE = B/ET$, 式中 WUE 为水分利用效率 ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$), B 为作物生物产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), ET 为田间耗水量 (mm)。

采用测定土壤含水量计算作物耗水量的方法^[9],耗水量的计算公式为:

$$ET = 10 \sum_{i=1}^n \rho_i H_i (W_{i1} - W_{i2}) + R + K$$

式中, ET 为阶段耗水量 (mm); i 为土层编号; n 为总土层数; ρ_i 为第 i 层土壤干容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); H_i 为第 i 层土壤厚度 (cm); W_{i1} 和 W_{i2} 分别为第 i 层土壤时段末和时段初的含水率,以占干土质量的百分数计; R 为降水量 (mm); K 为时段内的地下水补给量 (mm),当地下水埋深大于 2.5 m 时, K 值可以忽略不计,本试验的地下水埋深 > 2.5 m,故地下水补给量可视为 0。

1.4 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 和 SAS 9.0 统计软件计算。

2 结果与分析

2.1 保护性耕作对土壤容重的影响

土壤容重可以反映土壤的紧实程度,适宜的土壤容重有利于植物根系的生长,有利于作物对水分及养分的吸收^[10]。由于本试验地 0~20 cm 为风沙土,20~40 cm 为坨间草甸土,40 cm 以下为沙土。

由表 3 可见,2013 年和 2014 年保护性耕作主要对 0~40 cm 土层土壤容重影响较大,但对 40 cm 以下容重无明显影响。2013 年 0~40 cm 不同土层土壤容重处理间均表现为:深松 < 留茬 < 传统耕作 < 秸秆覆盖 < 免耕,深松处理各土层较传统耕作分别降低了 5.66%、6.59% 和 3.39%,留茬处理各土层较传统耕作分别降低了 3.77%、1.20% 和 1.69%。2014 年 0~40 cm 不同土层土壤容重处理间均表现为:深松 < 留茬 < 秸秆覆盖 < 免耕 < 传统耕作,0~10 cm 土层以深松、留茬处理土壤容重较传统耕作降幅较大,较传统耕作分别降低了 8.02% 和 6.79%,10~20 cm 和 20~40 cm 土层均以深松处理较传统耕作降幅最大,较传统耕作分别降低了 7.74% 和 5.62%。经方差分析,两年 0~10、10~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤容重处理间差异表现一致:10~20 cm 土层土壤容重深松与其它处理均差异显著,0~10 cm 和 20~40 cm 土层土壤容重深松与除留茬处理之外的处理差异性达到显著水平。对于 0~40 cm 土壤容重,随保护性耕作年限的增加逐渐降低。

2.2 保护性耕作对 >0.25 mm 土壤团聚体的影响

土壤肥力是评价土壤优劣的重要指标,土壤结构决定土壤的物理肥力,同时也决定土壤通气透水性。粒径 >0.25 mm 的团粒含量对土壤的农学价值起主要作用^[11]。由图 1 可知,2013 年和 2014 年,保护性耕作处理 0~40 cm 范围内不同土层 >0.25 mm 土壤团聚体含量均不同程度地高于传统耕作,且各处理土壤团聚体含量随土层深度的加深而增加,随着保护性耕作年限的增加团聚体含量逐渐增加。2013 年 0~10 cm 团聚体含量,深松、留茬、免耕、秸秆覆盖处理较传统耕作提高了 14.55%、11.50%、

6.81%和8.22%,以深松处理最好,其次是留茬处理,深松与除留茬外的处理差异显著;2014年深松、留茬、免耕、秸秆覆盖处理0~10 cm团聚体含量较传统耕作提高了13.39%、8.96%、5.78%和12.94%,其中以深松处理最好,其次是秸秆覆盖处理,两者差异不显著。试验年度内10~20 cm和20~40 cm团聚体含量处理间均表现一致:深松>留

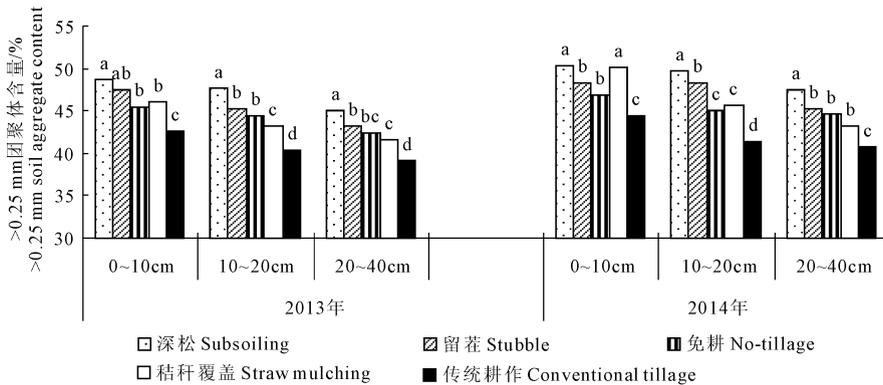
茬>秸秆覆盖>免耕>传统耕作,且保护性耕作处理团聚体含量显著高于传统耕作,均以深松处理效果最好,且与其它处理差异达到显著水平。2014年0~40 cm团聚体含量深松、留茬、免耕、秸秆覆盖、传统耕作处理较2013年各处理分别提高4.29%、4.35%、3.60%、5.54%和3.60%。

表3 收获后不同土层土壤容重的变化/(g·cm⁻³)
Table 3 The changes of soil bulk density in different soil layers

年份 Year	处理 Treatment	土层深度 Soil depths/cm					
		0~10	10~20	20~40	40~60	60~80	80~100
2013	深松 Subsoiling	1.50b	1.56b	1.71b	1.79a	1.77a	1.74b
	留茬 Stubble	1.53b	1.65a	1.74ab	1.76b	1.74a	1.73b
	免耕 No-tillage	1.62a	1.68a	1.78a	1.80a	1.79a	1.76a
	秸秆覆盖 Straw mulching	1.61a	1.67a	1.76a	1.76b	1.75a	1.74b
	传统耕作 Conventional tillage	1.59a	1.67a	1.77a	1.81a	1.79a	1.76a
2014	深松 Subsoiling	1.49d	1.55b	1.68c	1.78a	1.76ab	1.74c
	留茬 Stubble	1.51cd	1.65a	1.69c	1.80a	1.78ab	1.72d
	免耕 No-tillage	1.57c	1.67a	1.76ab	1.78a	1.76ab	1.76b
	秸秆覆盖 Straw mulching	1.56b	1.66a	1.74b	1.79a	1.78ab	1.76b
	传统耕作 Conventional tillage	1.62a	1.68a	1.78a	1.79a	1.79a	1.78a

注:表中同列不同小写字母表示同一土层不同处理在0.05水平差异显著。下表同。

Note: Different small letters indicate significant difference between tillage treatments at $P < 0.05$ level respectively, and hereinafter.



注:不同字母代表不同处理间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$).

图1 不同土层>0.25 mm土壤团聚体含量

Fig.1 The proportion of >0.25 mm soil aggregate content in different soil layers

2.3 保护性耕作对土壤含水量及贮水量的影响

由图2可知,各处理0~100 cm土壤质量含水量均随着土层深度的增加呈先增大后减小的变化趋势,各处理的土壤含水量均在20~40 cm土层达到最大。2013年耕层0~10 cm以深松处理土壤含水量最高,10~20 cm以留茬处理最高,20~100 cm土层之间处理间大致表现为留茬>深松>秸秆覆盖>

免耕>传统耕作,0~100 cm留茬、深松、秸秆覆盖、免耕平均含水量分别较传统耕作提高47.68%、27.17%、25.02%和13.24%。2014年0~100 cm各土层处理间土壤含水量大致表现为秸秆覆盖>深松>留茬>免耕>传统耕作,0~100 cm以上各处理平均含水量分别较传统耕作提高27.48%、24.43%、21.64%和16.37%。

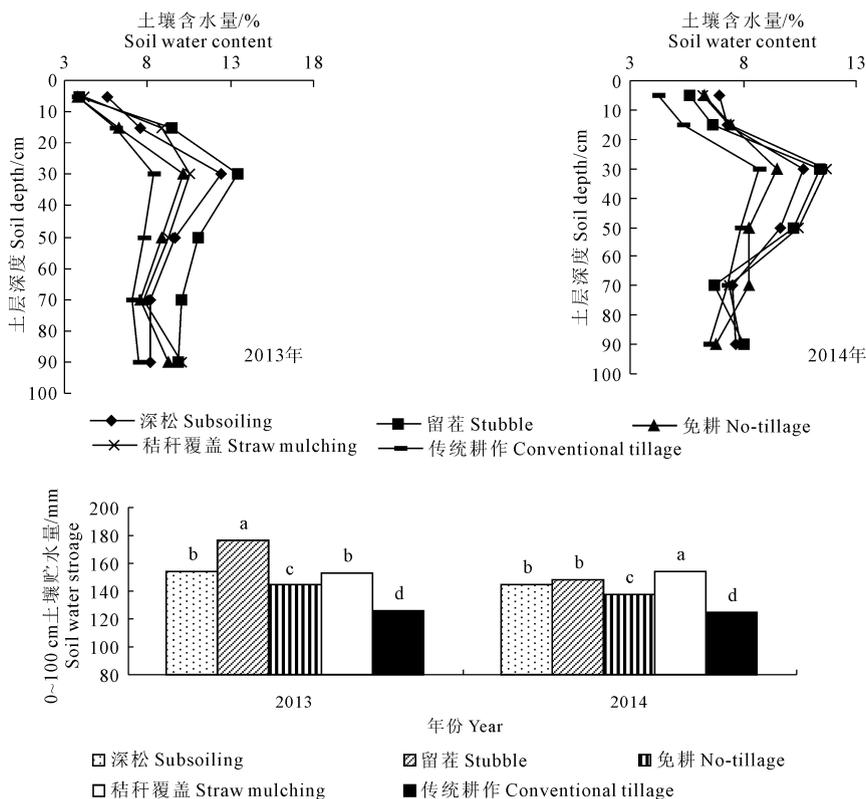


图 2 玉米收获后土壤含水量及贮水量垂直变化

Fig.2 The vertical variation of soil water content and water storage at the harvest stage of maize

2013年不同处理间0~100 cm土壤总贮水量总体表现为留茬>深松>秸秆覆盖>免耕>传统耕作,且依次较传统耕作提高了50.91、29.09、27.88、19.12 mm,留茬处理显著高于其它处理;2014年不同处理间0~100 cm土壤总贮水量总体表现为秸秆覆盖>留茬>深松>免耕>传统耕作,且依次较传统耕作提高了28.88、23.53、19.54、12.45 mm,秸秆覆盖处理显著高于其它处理。

2.4 保护性耕作对作物产量的影响

不同保护性耕作处理有效调控了土壤水分,促进土壤-作物水分的良性循环,促进土壤>0.25 mm土壤团聚体的形成,降低土壤容重,从而提高玉米子粒产量。由表4可知,2013年4种保护性耕作处理(深松、留茬、免耕、秸秆覆盖)除秸秆覆盖处理外玉米子粒产量均显著高于传统耕作,但生物产量、水分生产率及水分利用率均显著高于传统耕作,其中玉米子粒产量较传统耕作分别提高19.04%、12.86%、6.45%和1.54%,生物产量较传统耕作提高22.12%、17.00%、8.76%和6.46%,水分生产率较传统耕作分别提高25.05%、20.95%、10.96%和8.46%,水分利用效率较传统耕作分别提高27.42%、24.78%、11.66%和10.73%。2014年深松、留茬、免耕、秸秆覆盖处理玉米子粒产量、生物产

量和水分利用率均显著高于传统耕作,其中玉米子粒产量较传统耕作分别提高27.17%、15.61%、10.66%和12.90%,生物产量较传统耕作提高27.81%、19.73%、8.08%和15.56%,水分生产率较传统耕作分别提高23.98%、12.28%、8.59%和10.02%,水分利用效率较传统耕作分别提高24.60%、16.28%、7.45%和11.14%。可见,保护性耕作可以实现作物增产,提高水分利用效率,2013年处理间增产表现为深松>留茬>免耕>秸秆覆盖,2014年处理间增产表现为深松>留茬>秸秆覆盖>免耕。

3 讨论

3.1 保护性耕作对土壤物理性状的影响

由于长时间耕作方式不合理,犁底层变硬,耕层变浅。深松能打破犁底层,降低土壤容重,提高作物产量和水分利用效率^[12]。本试验研究表明,连续2年均以深松30 cm处理对0~20 cm土层土壤容重降低幅度最大,这与王俊河等^[13]研究结果相同,深松处理0~10 cm、10~20 cm土层土壤容重,2013年与传统耕作相比分别下降5.66%和6.59%,2014年与传统耕作相比分别下降8.02%和7.74%。本试验中耕层为风沙土,但心土层为坨间草甸土,而深松因

打破犁底层,并扰动了心土层,对心土层影响更大,因此显著降低了下层土壤的土壤容重;而进行秸秆连年还田可显著降低表层土壤容重,但对深层土壤

容重作用不明显^[14]。因此深松处理配合秸秆还田新型耕作模式对风沙土土壤结构的改良前景需进一步研究探讨。

表4 保护性耕作对作物产量及水分利用的影响

Table 4 Effects of conservation tillage on crop yield and water use

年份 Year	处理 Treatmet	贮水量/mm Soil water storage		降雨量 Rainfall /mm	子粒产量 Economic yield /(kg·hm ⁻²)	生物产量 Biological yield /(kg·hm ⁻²)	水分生产率 Water productivity /(kg·mm ⁻¹ · hm ⁻²)	水分利用效率 Water use efficiency /(kg·mm ⁻¹ · hm ⁻²)
		播前 Pre-sowing	收获后 Post-harvest					
2013	深松 Subsoiling	258.03	153.61	589.1	8984.30a	15066.35a	12.95a	21.72a
	留茬 Stubble	258.03	168.59	589.1	8502.23b	14435.26b	12.53a	21.27a
	免耕 No-tillage	258.03	142.28	589.1	8102.24c	13418.89c	11.50b	19.04b
	秸秆覆盖 Straw mulching	258.03	151.19	589.1	7820.15d	13138.73d	11.24b	18.88b
	传统耕作 Conventional tillage	258.03	123.52	589.1	7499.80d	12337.51e	10.36c	17.05c
2014	深松 Subsoiling	197.36	144.66	306.3	10989.40a	17730.92a	30.61a	49.39a
	留茬 Stubble	202.93	148.87	306.3	9990.24b	16609.71b	27.72b	46.09b
	免耕 No-tillage	196.00	138.42	306.3	9562.84b	14993.75d	26.81c	42.59d
	秸秆覆盖 Straw mulching	201.36	155.63	306.3	9756.09b	16031.05c	27.16bc	44.06c
	传统耕作 Conventional tillage	170.26	126.62	306.3	8641.62c	13872.86e	24.69d	39.64e

本试验研究发现,0~40 cm各土层>0.25 mm土壤团聚体含量均以深松处理最高,深松有效打破坚硬的犁底层,熟化生土层,活化了土壤营养成分,提高了土壤肥力、保墒性、缓冲性,提高耕层氮磷钾和有机质含量,改善土壤的物理性状,从而促进土壤团粒结构重新组合^[15]。秸秆覆盖对0~10 cm土层>0.25 mm土壤团聚体含量影响较大,2014年较2013年提高5.54%。是因为秸秆覆盖可增加土壤有机碳含量,而有机碳作为重要的胶结物质特别有利于大直径团聚体的形成与稳定,在团聚体形成过程中具有不可替代的作用^[16]。高建华等^[17]连续4年进行保护性耕作的研究发现,秸秆覆盖能够提高土壤腐殖质含量,促使土壤团聚体的形成。

深松蓄水保墒的功能与深松条件下土壤容重的减少密切相关,深松耕作土壤疏松多孔,为作物根系创造疏松深厚的土壤环境;深松可显著增强接纳灌溉和降水的功能,扩大土壤水库容^[18]。冯君等^[19]研究表明,根茬留田下土壤容重明显下降,孔隙度增加,从而增强了土壤的蓄水保墒性能。免耕有利于降低表土容重,增加并保护土壤微孔隙及其连续的孔隙路径,对土壤水力学性质有较大影响,可增加土壤水分入渗量,提高土壤的蓄水保墒作用^[20]。吕彪等^[21]研究发现,麦秸覆盖还田减少了地面水分的蒸发,有效保持土壤水分。本试验结果表明,4种保护性耕作措施均增加了收获后0~100 cm土壤贮水量,两年土壤贮水量深松、留茬、秸秆覆盖、免耕平均

较传统耕作依次提高19.24%、26.91%、22.66%和12.22%。

3.2 保护性耕作对作物产量的影响

两年深松的子粒产量、生物产量及水分利用效率均高于其它耕作方式,传统耕作方式下经济产量与生物产量最低。深松耕可打破犁底层,使深层次土壤变得疏松,降低了土壤容重,增大了土壤孔隙度,提高了降水入渗量^[22],同时由于深松增大了土壤粗糙度,增强了接纳灌溉和降水能力,减轻了地面径流水分损耗,扩大了土壤水库容,进而提高了水分利用率^[23]。由于深松改善了土壤的理化状况,有利于根系延伸和对水分、养分的吸收,促进了玉米生长发育,而获得了高产^[24-26],这与李立军等^[10]研究结果一致。免耕、留茬、秸秆覆盖措施下,其地表作物残茬的分解以及留在土壤中为腐解的有机物的分解可增加土壤有机质含量,有利于形成大直径的团聚体颗粒^[27],提高土壤孔隙度和土壤含水量,降低表层土壤容重,促进产量提高^[28]。但苏伟等^[29]研究发现,油菜在免耕条件下会出现土壤紧实度大、根系生长和养分吸收受抑以及杂草过多竞争养分的现象,从而导致了产量降低。在晋中进行秸秆覆盖栽培玉米试验结果表明,覆盖量10 000 kg·hm⁻²可增产19.1%^[30],但高亚军等^[31]在半湿润易旱地区的杨凌和渭北旱塬的彬县,冬小麦田秸秆覆盖不增产,甚至显著减产。何进等^[32]研究发现,在保护性耕作条件下,深松效应可以持续4年以上,不需年年深

松,相对深松覆盖(年年深松),4年免耕覆盖+1年深松的耕作方式能提高25%左右的经济效益。玉米免耕播种和深松联合作业能有效解决玉米深松过程中出现的一系列问题,促进玉米生长,提高玉米产量。因此,保护性耕作对风沙土作物增产是否具有长效性及联合作业在风沙土区的适应性,需要进一步研究。

4 结 论

综合各项研究结果表明,在科尔沁风沙土区不同保护性耕作对土壤物理性状及玉米产量有较大的影响。与传统耕作相比,深松、留茬、免耕、秸秆覆盖能够提高0~40 cm土层>0.25 mm的土壤团聚体的含量,改善土壤团聚体的分布,增强土壤的保水力;同时,保护性耕作可以降低0~40 cm土层土壤容重,对40 cm以下土层无明显影响。保护性耕作实施后,通过改善土壤结构,可实现作物增产。由2年数据结果显示,深松处理改善风沙土耕层土壤结构、提高保水性和增产效果最佳。但是由于本试验开展了2年,连续多年实施其它保护性耕作措施是否具有更好的效果和长效性,应进行长期定位试验的分析和监测,并加强各种耕作措施在年际间组合效应研究,以便提出更加有效的适应于风沙土的耕作措施,并进行推广和应用。

参 考 文 献:

- [1] 蒋德明,刘志民,寇振武,等.科尔沁沙地生态环境及其可持续管理——科尔沁沙地生态考察报告[J].生态学杂志,2004,23(5):179-185.
- [2] 孙艳楠,张清,李思佳,等.吉林省风沙土养分时空变化特点研究[J].广东农业科学,2013,40(9):58-61.
- [3] 毕晓伟.内蒙古科尔沁地区玉米保护性耕作模式探讨[J].农业机械学报,2009,(10):61-62.
- [4] 曹洁,赵士杰.正镶白旗风沙土农田实施保护性耕作研究[J].农机化研究,2013,(2):126-129.
- [5] 鲁向晖,隋艳艳,王飞,等.保护性耕作技术对农田环境的影响研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):66-72.
- [6] 吴淑芳,张永东,冯浩,等.土壤扩蓄增容技术研究现状与展望[J].水土保持研究,2013,20(2):302-308.
- [7] Lal R. Long term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria. Crop yield and soil physical properties[J]. Soil & Tillage Research, 1997,42:145-160.
- [8] 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.
- [9] 韩占江,于振文,王东,等.调亏灌溉对冬小麦耗水特性和水

- 分利用效率的影响[J].应用生态学报,2009,20(11):2671-2677.
- [10] 李立军,王林,刘馨,等.阴山北麓不同耕作方式对土壤理化性质的影响[J].中国农作制度研究进展,2008:348-352.
- [11] 刘瑞凤,杨红善,李安,等.PAA-atta复合保水剂对土壤物理性质的影响[J].土壤通报,2006,37(2):231-235.
- [12] 刘朝巍,谢瑞芝,张恩和,等.玉米宽窄行交替休耕种植根系分布规律研究[J].玉米科学,2009,17(2):120-123.
- [13] 王俊河,宫秀杰,于洋,等.春季深松对土壤物理性质及玉米产量的影响[J].黑龙江农业科学,2011(12):16-18.
- [14] 战秀梅,彭靖,李秀龙,等.耕作及秸秆还田方式对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J].华北农学报,2014,29(3):204-209.
- [15] 栾延令,张学雷.振动深松技术改土增产应用效果[J].水利科技与经济,2007,13(7):498.
- [16] 许淑青,张仁陟,董博,等.耕作方式对耕层土壤结构性能及有机碳含量的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(2):203-208.
- [17] 高建华,张承中.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[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):192-196.
- [18] 孔晓民,韩成卫,曾苏明,等.不同耕作方式对土壤物理性状及玉米产量的影响[J].玉米科学,2014,22(1):108-113.
- [19] 冯君,李万辉,耿玉辉,等.作物根茬留田的保土培肥效应[J].土壤通报,2006,37(5):890-893.
- [20] 余海英,彭文英,马秀,等.免耕对北方旱作玉米土壤水分及物理性质的影响[J].应用生态学报,2011,22(1):99-104.
- [21] 吕彪,秦嘉海,赵芸晨.麦秸覆盖对盐渍土肥力及作物产量的影响[J].土壤,2005,37(1):52-55.
- [22] 马耀光,张保军,罗志成,等.旱地农业节水技术[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [23] 高焕文,李问盈.保护性耕作技术与机具[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [24] 李华,逢焕成,任天志,等.深旋松耕作法对东北棕壤物理性状及春玉米生长的影响[J].中国农业科学,2013,46(3):647-656.
- [25] 边少锋,马虹,薛飞,等.吉林省西部半干旱区深松蓄水耕作技术研究[J].玉米科学,2000,8(1):67-68.
- [26] 梁金凤,齐庆振,贾小红,等.不同耕作方式对土壤性质与玉米生长的影响研究[J].生态环境学报,2010,19(4):945-950.
- [27] 郭晓霞,刘景辉,张星杰,等.免耕对土壤物理性质及作物产量的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(5):28-32.
- [28] 贾恩吉,何文安,赵立华,等.作物根茬对土壤物理性状的影响[J].吉林农业科学,1996,(3):55-57.
- [29] 苏伟,鲁剑巍,周广生,等.免耕及直播密度对油菜生长、养分吸收和产量的影响[J].中国农业科学,2011,44(7):1519-1526.
- [30] 卜玉山,苗果园,邵林海,等.对地膜和秸秆覆盖玉米生长发育与产量的分析[J].作物学报,2006,32(7):1090-1093.
- [31] 高亚军,李生秀.旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析[J].农业工程学报,2005,21(7):15-19.
- [32] 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.