

耕作方式对农田土壤水分变化特征及水分利用效率的影响

郑洪兵^{1,2}, 刘武仁^{1,2}, 罗洋^{1,2}, 李瑞平^{1,2}, 李伟堂^{1,2}, 王浩^{1,2}, 郑金玉^{1,2}

(1. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130033; 2. 农业部东北作物生理生态与耕作重点实验室, 长春 130033)

摘要: 探讨耕作方式对土壤含水量及水分利用效率的影响, 对于高效利用自然降水, 提高自然降水利用效率, 增加作物产量具有重要的理论与实践意义。因此, 采用铝盒称重法测定不同年份、季节、土壤剖面及冻融前后土壤含水量, 研究不同耕作方式对土壤含水量及作物水分利用效率的影响。结果表明: 在特定时期内土壤含水量随土层深度的增加而减少, 特别是土层 40 cm 以下尤为明显, 而且随季节呈波动性变化且受降雨影响较大; 季节冻融作用明显降低土壤含水量, 但深松较其他处理土壤含水量增幅为 0.93%~2.23%; 土壤贮水量随季节呈先增后降的趋势变化, 且生育前期明显高于生育后期; 不同耕作方式对田间耗水量和耗水系数无显著影响, 但深松耕作显著提高作物水分利用效率, 并且水分利用效率与产量的相关性达到极显著水平($r=0.76^{**}$)。综合分析认为, 保护性耕作结合深松是有效改善耕层结构, 增加土壤含水量, 提高自然降水利用效率的有效耕作方法。因此, 该研究可为东北雨养农业区留茬深松保护性耕作技术的推广提供理论依据。

关键词: 耕作方式; 土壤含水量; 水分利用效率; 留茬深松

中图分类号: S157.4⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)03-0264-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.03.040

Effect of Different Tillage Methods on Soil Water Content and Water Use Efficiency in Cropland

ZHENG Hongbing^{1,2}, LIU Wuren^{1,2}, LUO Yang^{1,2}, LI Ruiping^{1,2},

LI Weitang^{1,2}, WANG Hao^{1,2}, ZHENG Jinyu^{1,2}

(1. Research Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Science, Changchun 130033;

2. Key laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Northeast China, Ministry of Agriculture, Changchun 130033)

Abstract: Investigation of the influence of different tillage methods on soil water content and water use efficiency have important theoretical and practical significance for the utilization efficiency of natural precipitation and the increase of crop yield. The gravimetric soil moisture that soil samples were stored in metal cans, and oven dried at 105 °C for 6 hours was applied to determine the soil water content of soil from different years, seasons, profiles, and freeze-thaw. The influence of different tillage methods on soil water content and water use efficiency was assessed. The results showed that soil water content of different tillage systems decreased with the increase of soil depth, and it was significant when the soil depth was under 40 cm. Moreover, soil water content of different tillage systems was influenced by the precipitation and changed with season. The seasonal freeze-thaw decreased the soil water content of different tillage systems, however, soil water content of spacing tillage was increased from 0.93% to 2.23% with comparison of other tillage systems. Meanwhile, soil water storage was increased firstly then decreased with change of seasons, and was higher in the beginning of crop growth than in the end of crop growth. Influence of different tillage systems was on water consumption and water use coefficient was not significant; however, spacing tillage enhanced water use efficiency significantly, and the correlation between yield and water use efficiency was significant ($r=0.76^{**}$). Spacing tillage is an effective tillage system to improve the soil structure, increase soil water content, and enhance water use efficiency. Therefore, this study will provide a theoretical basis for the application of the conservative tillage technology for deep loosening tillage in the Northeast rain farming area.

Keywords: tillage method; soil water content; water use efficiency; deep loosening with high stubble

收稿日期: 2017-11-15

资助项目: 国家自然科学基金项目(31501248); 国家重点研发计划项目(2016YFD03002); 公益性行业农业科研专项(201503116); 吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2017ZY009, CXGC2017ZY017); 吉林省科技发展计划项目(20160203001NY)

第一作者: 郑洪兵(1980—), 男, 吉林白城人, 博士, 副研究员, 主要从事土壤耕作制度与保护性耕作研究。E-mail: hongbingzheng@126.com

通信作者: 郑金玉(1974—), 男, 吉林东丰人, 硕士, 研究员, 主要从事土壤耕作制度与保护性耕作研究。E-mail: zhengjinyu@sohu.com

东北黑土区是我国重要的商品粮生产基地,该地区以旱地农业为主,是传统的雨养农业区,大气降水是该地区农业用水的主要来源^[1]。并且在“大气—土壤—作物”连续体系中,以土壤为载体,接纳大气降水,大气降水只有转化为土壤水以后才能供给作物^[2]。而且土壤水是土壤的最重要组成部分之一^[3],其含量的多少和分布能够直接影响作物产量的形成^[4-5],可见水分是该地区农业生中的主要限制因子之一。因此,开展土壤水分研究对于该区高效利用自然降水、提高自然降水利用效率和增加作物产量具有重要意义。

然而,土壤含水量的高低、运移与分布受天气条件、土壤特性、种植方式及农田管理等因素共同作用影响^[5-6],其中耕作方式是影响土壤含水量的重要因素之一^[6]。已有研究^[7]表明,采取合理耕作措施可以有效减轻风蚀和水蚀,增加土壤蓄水保墒能力,改善土壤理化性状,提高作物产量和水分利用效率。方日尧等^[8]研究认为,保护性耕作可提高土壤蓄水保墒能力,具有秋雨春用和增产增收的作用。也有研究^[9]表明,保护性耕作能够显著提高土壤贮水量及含水量,其中免耕较常规耕作土壤贮水量分别提高 1.93%~7.25%。张海林等^[10]研究表明,免耕比传统耕作增加土壤蓄水量约 10%,提高水分利用效率约 10%。此外,深松能打破犁底层,降低土壤硬度^[11],改善土壤的渗透性能,增强土壤对降水的接纳和蓄存能力^[12-13],提高蓄水保墒性能和水分利用效率^[14]。王育红等^[15]研究表明,连续 2 年深松处理冬小麦比传统耕作平均增产幅度 18.8%,水分利用效率平均提高幅度为 16.8%。

目前,该区关于长期定位耕作对土壤水分的影响报道较少,特别是针对不同耕作方式土壤水分剖面特征、季节变化、冻融前后差异及多年变化系统研究鲜见报道。因此,通过连续监测田间土壤含水量,根据生育期间降水量和玉米产量计算水分利用效率,探讨不同耕作方式对土壤含水量和水分利用效率的影响,明确与作物产量之间的关系,为创建适宜的耕作方法和高效利用自然降水提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于吉林省公主岭市吉林省农业科学院院内试验区(43°45' N,125°01' E)。该区气候属于中温带大陆性季风气候,年均气温 4.5℃,年太阳有效辐射 4 800 MJ/m²,日照时间为 2 800 h,≥10℃有效积温为 2 860℃,无霜期 140 d,年降水量 567 mm,主要集中在 6—8 月。2012 年、2013 年和 2014 年 4—9 月总降水量分别为 366.2、595.5、642.9 mm,降雨均集中在 6—8 月。土壤类型为典型中层黑土、壤质黏土,全氮、全磷、全钾

质量分数分别为 0.15%,0.05%,2.26%;碱解氮、速效磷、有效钾质量分数分别为 146.36,13.50,152.32 mg/kg,0—20 cm 表层土壤 pH 6.5。

试验区 65 年降水量和年平均气温如图 1 所示,年均降水量为 628 mm,而最高降水量 1 007 mm 出现在 1957 年,最少降水量 369 mm 出现在 2002 年。年平均气温为 6.5℃,最高温度 8.5℃出现在 2005 年,最低温度 4.1℃出现在 1956 年。2013 年全年降水量为 764.10 mm,最多降水量出现在 8 月,降水量达 273.20 mm,最少降水量出现在 1 月,仅为 7.80 mm;2014 年全年降水量为 493.80 mm,最多降水量出现在 8 月,降水量达 135.10 mm,最少降水量出现在 4 月,仅为 2.80 mm。

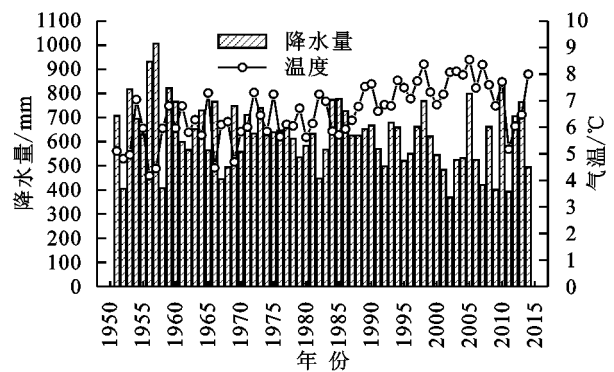


图1 公主岭近 65 年降水量与年平均气温变化

1.2 试验设计

试验始于 1983 年,设免耕(no-tillage, NT)、翻耕(plow tillage, PT)、留茬深松(spacing tillage, ST)和传统耕作(conventional tillage, CT)4 个处理,随机区组试验设计,每个小区面积 150 m×8 m(1 200 m²),3 次重复,试验区总面积为 15 000 m²,种植作物为多年连作玉米,一年一熟,保苗密度为 6 万株/hm²,行距为 65 cm,株距为 25 cm。N、P₂O₅、K₂O 用量分别为 243,92,80 kg/hm²。每年 5 月 1 日左右播种,10 月 1 日左右收获。具体田间操作方法见表 1。

1.3 测定指标与方法

土壤含水量的测定采用铝盒称重法,2007—2014 年于每年播种时测定播种前耕层土壤含水量。同时,2013 年分别于播种(4 月 22 日)、4 展叶(5 月 25 日)、6 展叶(6 月 7 日)、8 展叶(6 月 21 日)、14 展叶(7 月 6 日)、开花期(7 月 21 日)、灌浆初期(8 月 10 日)、灌浆中期(8 月 28 日)、成熟期(9 月 4 日)和收获(10 月 9 日)及 2014 年分别于播种(4 月 18 日)、4 展叶(5 月 23 日)、8 展叶(6 月 23 日)、14 展叶(7 月 9 日)、开花期(7 月 24 日)、灌浆初期(8 月 6 日)、灌浆中期(8 月 28 日)、成熟期(9 月 17 日)和收获(10 月 10 日)测定 0—100 cm 土层土壤含水量,每层 10 cm,去掉土钻上浮土取心土装入铝盒,带回室内称量,然后放在 105

℃的恒温干燥箱中烘 6 h 后,冷却至室温称重,计算各层土壤重量含水量(%)。生育期间降雨量采用 TRM-ZS2 自动气象站进行监测。同时,在播种前、生育期间和收获后测定土壤含水量同时,采用环刀法测土壤容重,进而计算土壤贮水量、耗水量和作物水分利用效率等相关指标,计算公式^[16]为:

$$S_w = d \times r \times w / 10$$

式中: S_w 为土壤贮水量(mm); d 为土层厚度(cm), r

为土壤容重(g/cm^3); w 为土壤含水量(%)。

土壤耗水量(mm)=播前土壤贮水量(mm)+降雨量(mm)-收获后土壤贮水量(mm)。

作物水分利用效率(WUE, $kg/(hm^2 \cdot mm)$)=玉米籽粒产量(kg/hm^2)/土壤耗水量(mm)。

产量于 2013—2014 年 10 月 1 日人工收获,测产面积为 20 m^2 ,3 次重复,分别取样 10 穗,自然风干后于室内考种,最后折算成标准水产量(14%)。

表 1 不同耕作方式田间操作方法

代码	处理	操作方法
ST	留茬深松	将传统 65 cm 的垄改成宽行 90 cm(作为深松带),窄行 40 cm(作为苗带),春季在上一年度的宽行机械播种,结合播种施入种肥,播后用镇压器镇压。在玉米拔节期结合追肥进行深松(30~35 cm)。玉米收获后,留高茬约 45 cm,其余秸秆运出田外,用旋耕机对上年的苗带进行旋耕,作下一年种床
NT	免耕耕作	春季用免耕播种机窄开沟播种,种肥侧深施,种肥隔离,然后用镇压器镇压。在玉米拔节期进行施肥,肥料施于玉米根部附近,秋季收获后留茬 35~40 cm,其余秸秆运出田外
PT	翻耕耕作	春季采用常规播种机播种,在玉米拔节期结合中耕进行追肥。秋季玉米收获后,秸秆全部运出田外,然后用翻转犁翻地,茬子翻入土壤中,翻地深度为 20~25 cm
CT	传统耕作	春季采用常规播种机播种,结合播种进行侧施种肥,在玉米拔节期结合中耕进行追肥。秋季玉米收获后,秸秆全部运出田外,然后用旋耕机进行浅旋整地(深度为 10~15 cm),以备翌年春季播种

1.4 数据处理

采用 Excel 2003 处理数据和 SPSS 13.0 统计软件中最小显著性差异检验法(LSD)进行方差分析和多重比较($\alpha=0.05$)。用 Origin 8.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 耕作方式对不同年份春季土壤含水量的影响

土壤含水量是反映土壤物理性质的重要指标,受多种因素的影响,尤其是耕作措施^[8]。由图 2 可知,土层 0—10 cm 除 2007 年处理间差异不显著,其余年份处理间差异均达显著水平($P<0.05$)。2008 年和 2010 年 ST 处理显著高于 NT、CT 和 MP 处理;2009 年 ST 处理均高于 CT 和 MP,其中与 MP 差异达到显著水平;2011 年 ST 与显著高于 MP 处理;2012 年 ST 和 NT 处理均显著高于 CT 和 MP 处理;2013 年和 2014 年 ST 和 NT 均显著高于 MP 处理。

从 7 年均值来看,ST 分别较其他处理提高 1.58%~4.41%。10—20 cm 土层除 2008 年和 2010 年处理间差异不显著,其余年份间差异均达显著水平,2007 年 ST 与 NT 处理均高于 CT 和 MP 处理,其中与 CT 处理差异达到显著水平;2009 年 ST 显著高于 CT 和 MP 处理;2011 年 ST 和 NT 均显著高于 MP 处理;2012 年和 2013 年 ST 和 NT 处理均显著高于 CT 和 MP 处理;2014 年 ST、NT 与 CT 处理均显著高于 MP 处理。从 7 年均值来看,ST 处理分别比其他处理提高 0.93%~2.23%。综上分析,深松和免耕播种前土壤含水量明显高于翻地和传统耕作,其主要原因一是春季不整地土壤扰动小,进而减少土壤水分蒸发,更多水分固持在土壤中;另外一个原因是由于部分秸秆和残茬覆盖地表,减少土壤直接暴露,在一定程度上减少土壤水分蒸发,也有助于提高土壤含水量。

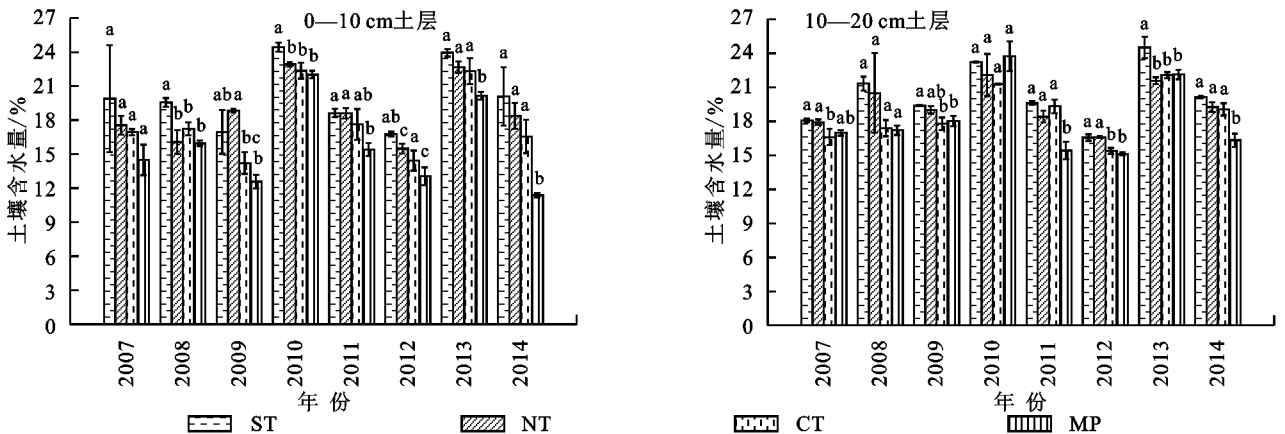


图 2 不同耕作方式对土壤含水量的影响

2.2 不同耕作方式土壤含水量剖面变化特征

由图 3 可知,播种期(4 月 22 日)各处理 0—50 cm 土壤含水量随土层深度增加呈增加趋势,并且 ST 处理明显高于其他处理,50 cm 以下各处理土壤含水量均随土层深度的增加而迅速减少,处理间差异不显著;苗期(6 月 7 日),各处理土壤含水量剖面变化规律与播种前变化趋势基本一致;抽雄吐丝期(7 月 21 日),土层 0—40 cm 各处理土壤含水量随土层深度呈垂直变化,40 cm 以下土壤含水量呈下降趋势变化;灌浆期(8 月 10 日),土层 0—40 cm ST、CT 和 MP 土壤含水量随土层深度的增加

而减少,但 NT 处理随土层深度增加呈增加趋势变化,土层 40—60 cm 各处理土壤含水量随土层深度增加而减少,60 cm 以下各处理土壤含水量随土层深度呈垂直变化;成熟期(9 月 4 日),土层 0—50 cm 土壤含水量随土层深度呈增加垂直变化,50 cm 以下各处理土壤含水量随土层深度呈迅速下降趋势变化;收获后(10 月 9 日),土层 0—50 cm ST 和 MP 处理土壤含水量随土层深度呈波动变化,而 NT 和 CT 则随土层深度呈垂直变化,且 ST 处理明显高于其他处理,50 cm 以下各处理土壤含水量随土层深度增加而减少。

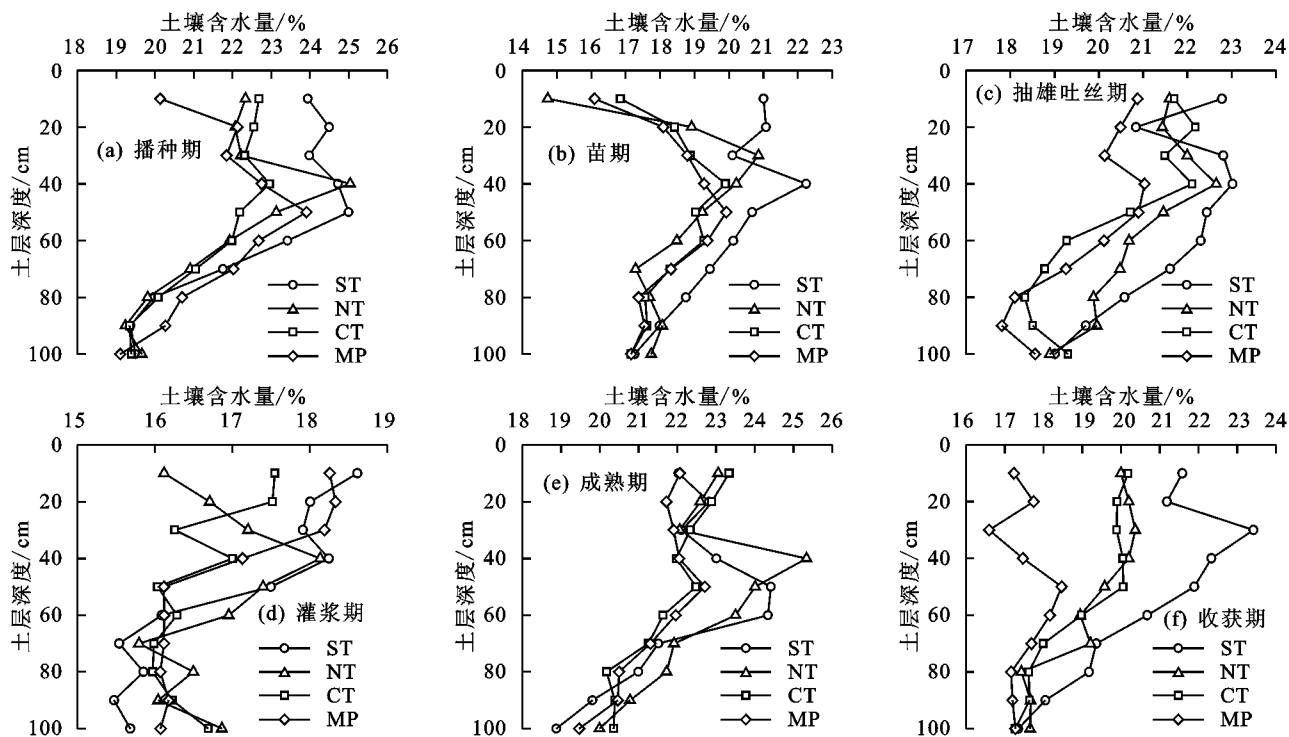


图 3 不同耕作方式下土壤含水量剖面变化特征(2013 年)

2.3 不同耕作方式土壤含水量季节性变化特征

由图 4 可知,2013 年各处理 0—100 cm 土壤含水量均值季节性变化趋势基本一致,随季节推移呈波动性变化,3 个峰值分别出现在 4 月 22 日、6 月 7 日和 7 月 6 日和 9 月 4 日;2014 年 0—100 cm 土层各处理

土壤含水量均值季节性变化趋势基本一致,2 个峰值分别出现在 6 月 23 日和 7 月 24 日,且抽雄吐丝期后各处理土壤含水量随生育期的推移呈下降趋势,变化相对比较平缓,但 9 月 17 日以后土壤含水量有增加趋势。

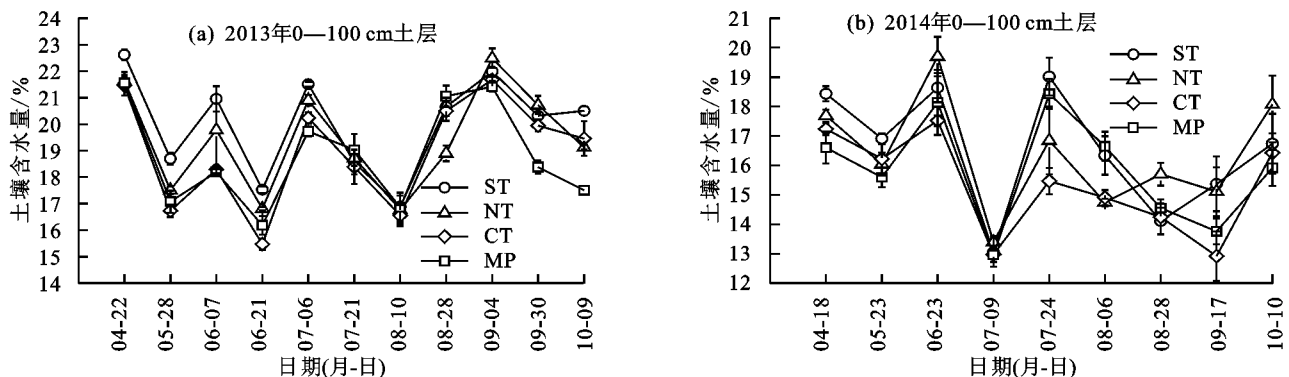


图 4 不同耕作方式土壤含水量季节性变化特征

2.4 冻融前后不同耕作方式土壤含水量的变化

从 10 月 20 日开始上冻到翌年 4 月 10 日土壤解

冻研究冻融对土壤含水量的影响结果表明(表 2),冻融作用明显降低土壤含水量,ST 处理土壤含水量降

低 5.28%~11.24%;NT 处理冻融前后土壤含水量降低 0.53%~13.35%;CT 处理除 20-30 cm 土层冻融后土壤含水量有所增加,其他土层土壤含水量均下降,下降

幅度为 4.49%~33.43%;MP 处理除 30-40,80-90,90-100 cm 土层外冻融后土壤含水量有所增加,其他土层均降低,下降幅度为 0.46%~51.53%。

表 2 冻融前后不同耕作方式土壤含水量变化

处理	时期	土层深度/cm									
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
ST	BFH	21.59a	21.19a	23.42a	22.34a	21.89a	20.68a	19.36a	19.18a	18.05a	17.35a
	AFH	20.10abc	20.13ab	20.14ab	20.85b	19.27bc	18.10bc	17.61c	16.42b	16.14bc	15.55a
NT	BFH	20.00abc	20.20ab	20.37b	20.21b	19.58bc	18.95b	19.22ab	17.43ab	17.67a	17.66a
	AFH	18.38abc	19.24b	18.72bc	20.10bc	17.85d	17.88bc	16.73cd	16.50b	15.91bc	15.58a
CT	BFH	20.18ab	19.90ab	19.89bc	20.05b	20.06b	18.99b	18.00bc	17.62ab	17.64a	17.27a
	AFH	16.57c	19.05bc	20.82bcd	18.86ab	18.75bcd	17.09c	15.70d	13.20c	15.42c	16.87a
MP	BFH	17.24bc	17.75c	16.60d	17.47c	18.47cd	18.17bc	17.69c	17.17b	17.20ab	17.27a
	AFH	11.38d	16.33d	16.04cd	18.08c	17.69d	17.62bc	16.84cd	17.09b	17.27ab	17.66a

注:不同字母代表不同处理间在 5% 水平差异显著, $n=5$;BFH 为冻融前,AFH 为冻融后。

2.5 耕作方式对土壤贮水量的影响

土壤贮水量是指一定土层厚度的土壤总含水量,是充分利用降雨,强化降雨入渗提高水分利用效率的重要途径^[9]。由图 5 可知,0-10,10-30,30-60,0-60 cm 土壤贮水量季节性变化趋势基本一致,均从 4 月 18 日至 6 月 25 日呈增加趋势,6 月 25 日至 8 月 28 日呈下降趋势变化,再由 8 月 28 日至 10 月 10 日呈增加趋势变化,其中 0-10 cm 土壤贮水量变化范围为 12.54~27.23 mm,10-30 cm 土壤贮水量变化范围为 43.47~61.32 mm,30-60 cm 土壤贮水量变化范围为 57.45~99.66 mm,0-60 cm 土壤贮水量变化范围为 121.77~184.67 mm。各土层 6 月土壤贮水量最高主要归因于 6 月的降雨较多,而 8 月土壤贮水量较少的主要原因是降雨量相对减少,同时也是由于玉米进入旺盛生长期根系吸水量较大导致的。

2.6 耕作方式对作物水分利用效率的影响

由表 3 可知,播种前土壤储水量两年均值高低顺序为 ST>CT>NT>MP,2013 年 ST 处理显著高于其他处理,2014 年 ST 处理显著高于 MP 处理;收获后土壤储水量 2 年均值高低顺序为 ST>NT>CT>MP,但处理间差异不显著。不同耕作方式对田间耗水量和耗水系数无显著影响;不同耕作方式影响玉米产量,2 年均值比较高低顺序为 ST>MP>NT>CT,ST 显著高于其他处理,但 NT,MP 和 CT 处理间差异不显著,2013 年处理间比较高低顺序为 MP>ST>NT>CT,MP 和 ST 差异不显著但显著高于 NT 和 CT 处理,2014 年处理间比较高低顺序为 ST>MP>NT>CT,ST,MP 和 NT 处理间差异不显著,但均显著高于 CT 处理;从 2 年不同耕作方式对水分利用效率的影响来看,ST 处理均显著高于其他处理,但其他处理间差异不显著。

表 3 不同耕作方式对玉米产量和水分利用效率的影响

年份	处理	播前土壤 储水量/mm	收获后土壤 储水量/mm	生育期 降水量/mm	田间耗水量/ mm	耗水系数	产量/ (kg·hm ⁻²)	水分利用效率/ (kg·hm ² ·mm ⁻¹)
2013	ST	224.22a	165.88a	553.90	612.24a	0.0483a	11568.08a	20.76a
	NT	201.90b	177.59b	553.90	578.21a	0.0507a	11406.92b	19.74ab
	CT	205.88b	174.90b	553.90	584.87a	0.0515a	11824.15b	20.23b
	MP	200.16b	159.92b	553.90	594.15a	0.0496a	12353.39ab	19.49b
2014	ST	164.46a	160.04a	438.10	442.52a	0.0365a	12120.19a	27.42a
	NT	157.66a	167.69a	438.10	428.07a	0.0395a	10879.08ab	25.50b
	CT	156.39a	157.46a	438.10	437.03a	0.0412a	10668.33b	24.43b
	MP	132.61b	146.44a	438.10	424.27a	0.0384a	11075.94ab	26.09b
平均	ST	194.34a	162.96a	496.00	527.38a	0.0424a	12403.46a	24.09a
	NT	179.78b	172.64a	496.00	503.14a	0.0451a	11143.00b	22.62b
	CT	181.67b	166.18a	496.00	510.95a	0.0463a	11118.21b	22.33b
	MP	166.39c	153.18a	496.00	509.21a	0.0440a	11450.05ab	22.79b

2.7 产量与水分利用效率等指标的相关分析

通过相关分析表明(表 4),产量与水分利用效率

相关性达极显著水平($r=0.76^{**}$),并且与播前土壤储水量和耗水量呈显著正相关而与其指标相关不显

著;水分利用效率与播种前土壤储水量、耗水量和耗水系数呈极显著负相关,而与生育期间降水量呈显著负相关,而其他指标间存在不同程度的相关性。

表 4 产量与水分利用效率等指标的相关性

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_2	0.76**					
X_3	0.65*	-0.80**				
X_4	0.07	-0.54	0.65*			
X_5	0.58*	-0.91**	0.94**	0.51		
X_6	0.20	-0.99**	0.82**	0.61*	0.91**	
X_7	0.54	-0.64*	0.69**	0.45	0.77**	0.66*

注: X_1 为产量(kg/hm^2); X_2 为水分利用效率($(\text{kg} \cdot \text{hm}^2)/\text{mm}$); X_3 为播种前土壤贮水量(mm); X_4 为收获后土壤贮水量(mm); X_5 为耗水量(mm); X_6 为耗水系数; X_7 为生育期间降水量(mm); * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

3 讨论

3.1 土壤含水量

土壤水是土壤的最重要组成部分和作物吸水的最主要来源,受土壤耕作措施影响较大^[3]。刘爽等^[17]研究表明,免耕覆盖比传统覆盖的土壤含水量高 4.9%。本研究表明,留茬深松保护性耕作显著提高土壤含水量,其主要原因是通过深松耕作构建了土壤水库,同时春季免耕播种减少土壤扰动也是增加土壤含水量的一个重要因素。闫海丽等^[18]研究表明,不同的保护性耕作措施均可提高玉米期土壤水分含量。李玲玲等^[19]研究表明,免耕秸秆覆盖的土壤含水量显著高于传统耕作的土壤含水量,在土壤表层的含水量免耕秸秆覆盖是传统耕作的 1.9 倍。蔡立群等^[20]也研究表明,保护性耕作措施还能够影响土壤含水量,随着降水量的增多土壤对降水的保水效果增强,在降水较少的时候免耕秸秆覆盖作用效果明显。

3.2 土壤贮水量

土壤贮水量是指一定土层厚度的土壤总含水量,充分利用降雨,强化降雨入渗有限水分利用效率的重要途径^[9]。王蕾等^[21]研究发现,保护性耕作能够显著改善 0—200 cm 土层贮水量,随着降水量的增多土壤对降水的保蓄能力增强。本研究表明,土壤贮水量随季节呈先增后降的趋势变化,且生育期前期明显高于生育后期。李友军等^[22]等指出,深松覆盖和免耕覆盖休闲期间土壤贮水量较传统耕作提高了 8.79%~13.39%,7.72%~8.05%,降水蓄墒率提高 13.72%,11.28%,降水利用效率提高 25.55%,11.83%,水分利用效率提高 16.37%,10.62%。张海林等^[10]多年研究结果同样表明,免耕比传统耕作增加土壤贮水量 10%,减少土壤蒸发约 40%,耗水量减少 15%,水分利用效率提高 10%。

3.3 作物水分利用效率

作物水分利用率受到降水量与分布、土壤肥力高低、品种特性、栽培技术水平以及有效积温高低等多种因素的影响^[23],其中耕作方式对作物水分利用效率的影

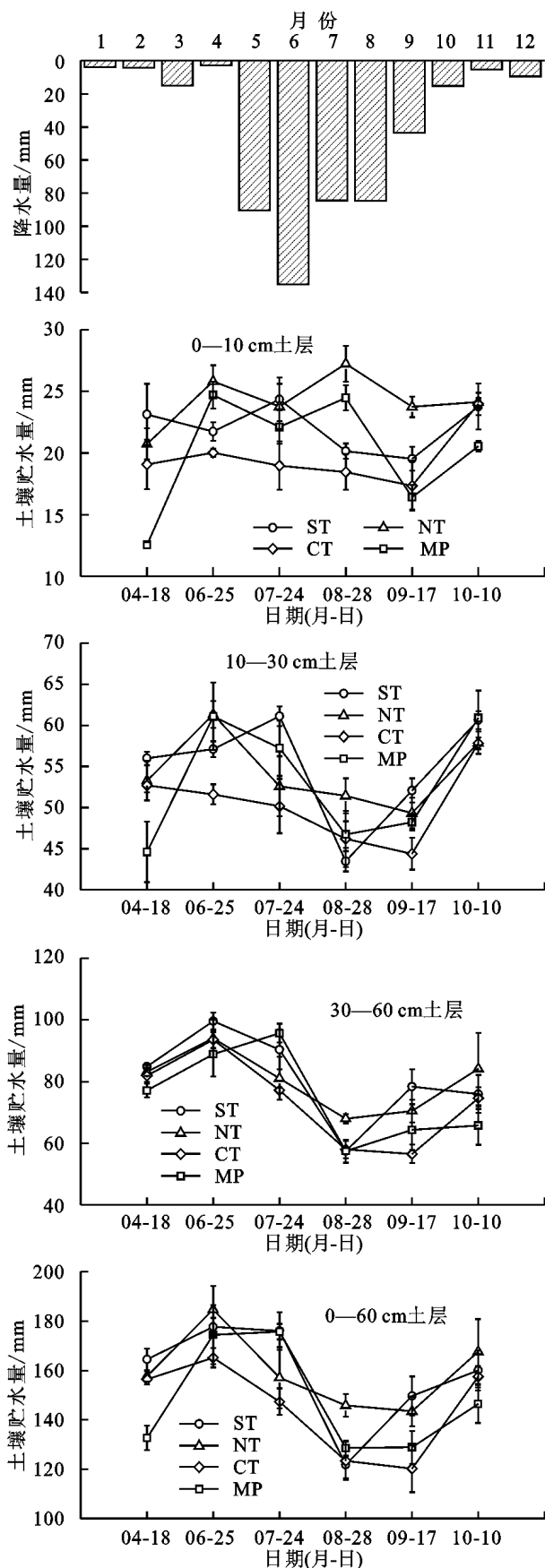


图 5 不同耕作方式下土壤贮水量变化特征(2014 年)

响差异明显^[24]。本研究表明,深松作物水分利用效率显著高于其他处理,其主要原因是由于深松耕作构建土壤水库积蓄自然降水,同时改善耕层条件促进玉米根系生长,增加作物产量,因而提高自然降水利用效率。黄高宝等^[25]研究认为,播种期春小麦和豌豆免耕秸秆覆盖处理降水生产效率较常规耕作提高了 17.79%~26.81%,而多年免耕导致土壤压实,容重增大,产量降低^[26]。但通过土壤深松也可降低土壤容重,破除土壤板结,从而提高作物产量和水分利用效率。

4 结论

本研究结果表明,在特定时期内土壤含水量随土层深度的增加而减少,特别是土层 40 cm 以下尤为明显,而且随季节呈波动性变化受降雨影响较大;同时,季节冻融作用明显降低土壤含水量,而留茬深松较其他处理土壤含水量增幅为 0.93%~2.23%;此外,土壤贮水量随季节呈先增后降的趋势变化,且生育前期明显高于生育后期;不同耕作方式对田间耗水量和耗水系数无显著影响,但深松耕作显著提高作物水分利用效率,并且与产量相关性达到极显著水平,可见留茬深松是增加土壤含水量、提高自然降水利用效率、增加作物产量的有效耕作方式。

参考文献:

[1] 邹文秀,韩晓增,江恒,等. 黑土区不同水分处理对大豆产量和水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012,30(6):68-73.

[2] 陈洪松,邵明安,王克林. 黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征[J]. 生态学报,2005,25(10):2491-2498.

[3] 岳宏昌,王玉,李缠云,等. 黄土丘陵区土壤水分垂直分布研究[J]. 水土保持通报,2009,29(1):66-82.

[4] Blevins R L, Cook D, Phillips S H, et al. Influence of no-tillage on soil moisture [J]. *Agronomy Journal*, 1971, 63: 593-596.

[5] Lopez M V, Arrue J L, Sanchez-Giron V A. Comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragon [J]. *Soil and Tillage Research*, 1996, 37: 251-271.

[6] 付国占,李潮海,王俊忠,等. 残茬覆盖与耕作方式对土壤性状及夏玉米水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(1):52-56.

[7] 柏炜霞,李军,王玉玲,等. 渭北旱塬小麦玉米轮作区不同耕作方式对土壤水分和作物产量的影响[J]. 中国农业科学,2014,47(5):880-894.

[8] 方日尧,同延安,赵二龙,等. 渭北旱原不同保护性耕作方式水肥增产效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2003, 21(1):54-57.

[9] 郭清毅,黄高宝,Li G D,等. 保护性耕作对旱地麦—豆双序列轮作农田土壤水分及利用效率的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(4):165-169.

[10] 张海林,陈阜,秦耀东,等. 覆盖免耕夏玉米耗水特性的研究[J]. 农业工程学报,2002,18(2):36-40.

[11] 郑洪兵,郑金玉,罗洋,等. 长期不同耕作方式下的土壤硬度变化特征[J]. 农业工程学报,2015,31(9):63-70.

[12] Ramakrishna A, Hoang M T, Suhas P W, et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam [J]. *Field Crops Research*, 2006, 95(2/3): 115-125.

[13] 刘立晶,高焕文,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.

[14] 雷金银,吴发起,王健,等. 保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(10): 40-45.

[15] 王育红,姚宇卿,吕军杰,等. 豫西旱坡地高留茬深松对冬小麦生态效应的研究[J]. 中国生态农业学报,2004, 12(2):146-148.

[16] 廖允成,韩思明,温晓霞. 黄土台塬旱地小麦水分特征及水分利用效率研究[J]. 中国生态农业学报,2002,10(3):55-58.

[17] 刘爽,张兴义. 保护性耕作下黑土水热动态研究[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(6):15-22.

[18] 闫海丽,张淑香,李民,等. 冷凉地区不同耕作措施对土壤环境和作物生长发育的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2004(6):16-19.

[19] 李玲玲,秦舒浩. 陇中半干旱区集雨补灌小麦玉米复合群体产量及水分效应[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(6):38-41.

[20] 蔡立群,罗珠珠,张仁陟,等. 不同耕作措施对旱地农田土壤水分保持及入渗性能的影响研究[J]. 中国沙漠, 2012,32(5):1362-1368.

[21] 王蕾,李军,贾志宽,等. 渭北旱原夏闲期麦田不同耕作措施的土壤贮水效应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(8):133-138.

[22] 李友军,黄明,吴金芝,等. 不同耕作方式对豫西旱耕地水肥利用与流失的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(2):42-45.

[23] 石元亮,许翠华,王立春,等. 松嫩平原玉米带土壤水分利用率研究[J]. 土壤通报,2003,34(5):385-388.

[24] 杜兵,邓健,李国盈,等. 冬小麦保护性耕作法与传统耕作法的田间对比试验[J]. 中国农业大学学报,2000,5(2):55-58.

[25] 黄高宝,郭清毅,张仁陟,等. 保护性耕作条件下旱地农田麦—豆双序列轮作体系的水分动态及产量效应[J]. 生态学报,2006,26(4):1176-1185.

[26] 吕美蓉,李增嘉,张涛,等. 少免耕与秸秆还田对极端土壤水分及冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报,2010, 26(1)41-45.