

农牧交错带不同耕作方式土壤水分动态变化特征

马月存¹, 秦红灵¹, 高旺盛^{1,*}, 陈源泉¹, 李向东¹, 隋 鹏¹, 黄凤球²

(¹ 中国农业大学农学与生物技术学院 区域农业研究中心, 北京 100094 ² 湖南省农业科学院土壤肥料研究所, 长沙 410125)

摘要 :从耕作方式、覆盖和轮作 3 个因素系统地对苜蓿整个生育期土壤含水量进行了动态的观测研究,结果表明,干旱地区单纯的免耕在提高土壤水分含量上作用不太明显,尤其是降低了表层土壤的含水量,免耕只有在覆盖下,才能真正起到增加土壤水分含量,提高水分利用效率的作用,而对于深松处理,无论是覆盖还是不覆盖,与传统翻耕处理相比,土壤水分均明显提高,同种耕作措施覆盖与无覆盖相比,覆盖处理下土壤含水量明显高于无覆盖处理,说明保护性耕作之所以能够提高土壤水分含量,关键因素在于残茬覆盖,同种耕作方式下轮作种植土壤水分含量与水分利用效率明显高于连作。可以看出,从理论上轮作深松覆盖处理是当地应采用的最佳耕作方式,然而,由于当地缺乏覆盖材料,因此,轮作深松是目前当地最适合的耕作方式。

关键词 农牧交错带, 保护性耕作, 土壤水分

文章编号: 1000-0933 (2007)06-2523-08 中图分类号: S154.1, S181, S345 文献标识码: A

Dynamics of soil water content under different tillage in agriculture-pasture transition zone

MA Yue-Cun¹, QIN Hong-Ling¹, GAO Wang-Sheng¹, CHEN Yuan-Quan¹, LI Xiang-Dong¹, SUI Peng¹, HUANG Feng-Qiu²

¹ Regional Agricultural Research & Development Center, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China
² Soil and Fertilizer Institute, Hunan Academy of Agricultural Science, Changsha 410125, China
Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (6): 2523 ~ 2530.

Abstract :The dynamics of soil water content under different tillage systems were studied throughout the growing period of oat (*Avena sativa* L.). The treatments included tillage (zero tillage, sub-soiling, and moldboard plow), residue cover (with and without mulch), and crop rotation (continuous cropping and crop rotation). The results indicated that soil water content and crop water use efficiency was improved under zero tillage with mulch. When crop residue was removed, soil water content under zero tillage was reduced, especially in the surface layer. Comparing to the moldboard plow, sub-soiling increased soil water content and storage, either with mulch or without mulch. For all the three tillage treatments, soil water content with mulch was significantly higher than that of without mulch. Furthermore, soil water content and crop water use efficiency under crop rotation was consistently higher than the continuous cropping. We concluded that sub-soiling with mulch was the optimum management system in this area. At present, however, a combination of crop rotation and sub-soiling is a viable option, since there is not enough crop residue available for mulching.

Key Words :agriculture-pasture transition zone ; conservation tillage ; soil water content

基金项目 国家“十一五”科技支撑计划课题资助项目 (2006BAD15B00)
收稿日期 2006-12-05 ; 修订日期 2007-03-16
作者简介 马月存 (1980 ~), 男, 河北内丘人, 硕士生, 主要从事保护性耕作农业生态研究. E-mail : mayuecun1980@163.com
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail : wshgao@cau.edu.cn
Foundation item The project was financially supported by National Eleventh-five year project (No. 2006BAD15B00)
Received date 2006-12-05 ; Accepted date 2007-03-16
Biography MA Yue-Cun, Master candidate, mainly engaged in agricultural ecology. E-mail : mayuecun1980@163.com

农牧交错带地区的战略地位非常重要^[1]。但是该地区由于水资源缺乏,已经严重制约了当地农业的可持续发展。国内外大量研究表明,保护性耕作是干旱半干旱地区增加土壤蓄水量^[2~4],提高水分利用效率的有效措施之一。原因在于免耕下作物残茬覆盖有提高水分渗透率,减少水分蒸发,保持土壤湿度的功能^[5~7],Liebig^[8]等在美国北部大平原、Ferrerias^[9]等在阿根廷南部半干旱大草原、Olaoye^[10]在尼日利亚农牧交错带都有相关报道,在国内也有大量相关研究报道^[1~14]。但是过去的研究结果大多数是建立在作物残茬覆盖的基础上。但是实验区由于冬季大风天数较多,空气干燥,加上农户放牧,免耕下前年所留的作物残茬在第二年春季所剩无几,因此,有必要对单纯免耕和深松处理下土壤水分变化状况进行深入研究。

本文的研究目的有三:其一是探明农牧交错带半干旱地区单纯免耕或深松土壤土的含水量变化基本情况;其二,确定同种耕作方式轮作和连作下土壤水分变化趋势;其三,同种耕作方式下覆盖与无覆盖下土壤含水量变化趋势,从免耕(深松)、覆盖和轮作3个因素着手,综合研究土壤含水量的动态变化规律。

1 研究材料与方法

1.1 试验区基本概况

武川县位于内蒙古自治区阴山北麓(41°05'N,111°26'E),农牧交错带的中部。该县土地面积4885km²,人口17.1万人,地形南山北丘,山地41.9%,丘陵50.4%,滩地河谷7.7%,海拔1600~2000m,年平均气温2.5℃,月平均最高气温为19.0℃,出现在7月份,降水量约300mm,集中于5~9月份,2006年降雨量偏少(表1),无霜期约105d。

1.2 试验设计与方法

试验地面积0.36hm²,0~30cm土壤为壤土,40~60cm为栗钙土,70~100cm为沙土。本试验始于2003年,分翻耕、免耕和深松3个处理,采用免耕播种机(内蒙古农业大学机械厂2BM-9型)进行播种。2003年种植莜麦,2004年油菜,2005年种植箭舌豌豆

(*Vicia sativa* L)和莜麦(*Avena sativa* L)两种作物,2006年全部为莜麦,因此,试验分轮作与连作两部分,轮作前茬为剑舌豌豆,连作为莜麦,共分轮作深松(sub-soiling under rotation cropping, SSR)、轮作免耕(Zero-tillage under rotation cropping, ZTR)、轮作翻耕(moldboard plow under rotation cropping, MPR)、连作深松(sub-soiling under continuous cropping, SSC)、连作免耕(Zero-tillage under continuous cropping, ZTC)和连作翻耕(moldboard plow under continuous cropping, MPC)6个处理,3次重复,18个小区,每个小区0.02hm²,并且在深松和免耕两种耕作方式中分别设置覆盖亚处理,即连作深松覆盖(sub-soiling under continuous cropping with cover, SSCC)、轮作深松覆盖(sub-soiling under rotation cropping with cover, SSRC)、轮作免耕覆盖(Zero-tillage under rotation cropping with cover, ZTRC)、连作免耕覆盖(Zero-tillage under continuous cropping with cover, ZTCC),3次重复,12个小区,面积15m²,作为辅助试验。试验田采用裂区设计,种植莜麦,终年无灌溉,采用除草剂除草,一次性施用底肥,折合纯N、P各为15.9Kghm⁻²和17.61Kghm⁻²。覆盖小区采用莜麦秸秆进行覆盖,覆盖度为100%。为确保小区表层土壤在早春迅速增温和苗期生长发育,覆盖小区在莜麦出苗后进行覆盖处理。

土壤水分测定通过土钻法,5月底至9月上旬是作物的生长季节。分别于播种前、苗期、分蘖期、花期、灌浆期和收获后测定,测定深度为1m,每隔10cm测定1次。

1.3 数据处理方法

3次重复求平均值对数据进行统计分析。单尾检验重复间的差异显著性,新复级差法检验处理间的差异显著性水平,用不同的数字或*表示5%的显著性水平。

2 结果分析

2.1 不同耕作方式下莜麦整个生育期土壤含水量对比动态变化

2.1.1 单纯免耕和深松下莜麦整个生育期土壤含水量对比动态变化

(1)播前不同耕作方式土壤含水量对比

表1 2006年作物生育期降雨统计基本情况
Table 1 statistics of total rainfall during whole development stage of oat in 2006

时间 Time	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.
Precipitation (mm)	30.57	33.44	73.57	17.52

在莜麦播前单纯免耕和深松处理与传统翻耕处理下 1m 深土层土壤含水量对比 (图 1), 可以看出, 轮作条件下 1m 深土层 (图 1a), 单纯深松的土壤含水量基本高于翻耕处理, 上层 20cm 差异不显著, 而在深层土壤差异显著 而免耕在 20cm 土层的含水量略低于翻耕且差异不显著外, 在 10、30、40、50cm 土层的含水量同样高于翻耕处理, 分别提高了 8.7%、6.9%、21.4%、11.8% 在 50cm 以下土层的含水量也低于翻耕处理。

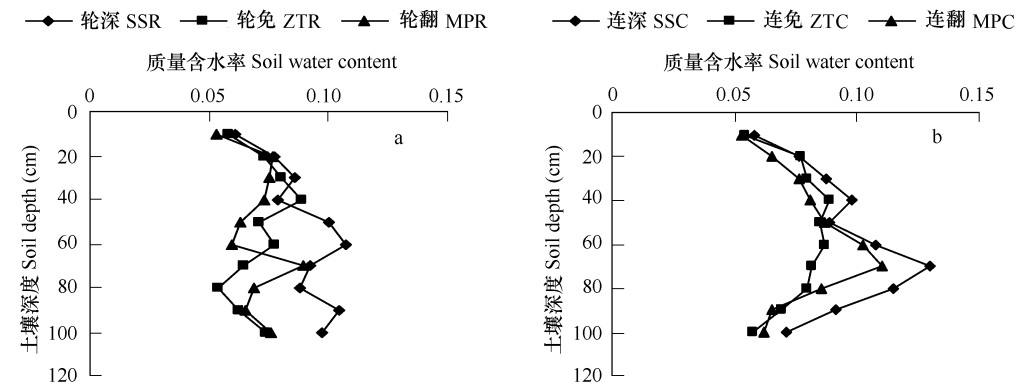


图 1 播前不同耕作方式下土壤含水量对比

Fig. 1 The comparison of soil water content between different tillage with rotation before sowing

连作条件下含水量变化趋势与轮作相同 (图 1b), 深松在 1m 深土层的含水量基本高于翻耕处理, 而免耕在上层 50cm 深土层的含水量高于翻耕, 而在下层 50cm 土壤含水量低于翻耕处理。原因在于在农田休闲期间, 由于地面表层无残茬覆盖, 在强大的蒸发动力下, 免耕和深松深层水分随毛细管上升到浅层土壤, 使浅层土壤的相对含水量较高, 而翻耕在蒸发作用下, 表层土含水量极低, 但由于毛细管被切断, 保持了深层土壤水分。

1) 苗期及分蘖期不同耕作方式下土壤含水量对比

在莜麦苗期免耕和深松与翻耕下 1m 深土层土壤含水量对比 (图 2), 可以看出, 轮作条件下 (图 2a), 1m 深土层的含水量深松基本高于传统的翻耕处理, 在 0~50cm 土层, 深松处理的土壤含水量分别比翻耕提高了 41.75%、9.29%、7.95%、0.32%、39.72% 而在免耕处理下, 一般来讲, 浅层土壤的含水量低于翻耕处理, 而在深层土壤的含水量高于翻耕处理, 在 0~50cm 土层, 除 40cm 土层的含水量比翻耕增加 3.79% 外, 10、20、30、50cm 土层的含水量分别降低 14.97%、17.33%、16.95%、10.33% 在深层土壤免耕含水量就明显的提高, 在 60~100cm 土层, 免耕的土壤含水量分别比翻耕提高 18.72%、11.37%、3.25%、18.50%、14.17%。连作的基本趋势与轮作相同 (图 2b), 深松在整个 1m 深土层的含水量基本高于翻耕, 而免耕处理表现为浅层含水

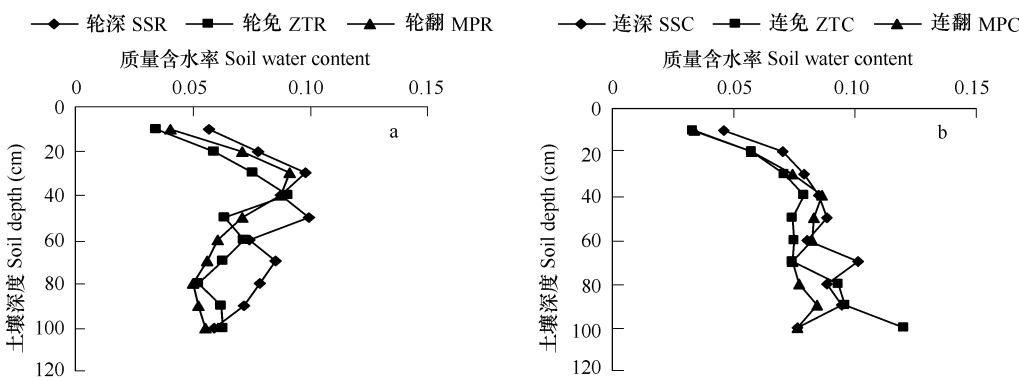


图 2 苗期不同耕作方式下土壤含水量对比

Fig. 2 The comparison of soil water content between different tillage with rotation for seedling stage

量低,而深层含水量高的趋势。

分蘖期的含水量变化规律基本与苗期相同,无论是在轮作还是连作下,深松的含水量均高于翻耕,而免耕同样是在浅层的含水量低于翻耕,但降低幅度减小,在深层土壤含水量高于翻耕。

§) 莠麦花期土壤含水量对比

在莠麦开花期轮作模式免耕处理下 图 3a),与前两个生育期有所变化,表现为免耕在浅层土壤含水量与翻耕相比有所增加,在 0~30cm 耕层分别增加 10.35%、1.64%、1.08%,在中层土壤与翻耕相比降低,深层土壤的含水量与翻耕相比增加 深松仍表现为在各土层含水量的增加。连作与轮作情况基本相同。其原因在于莠麦在花期的耗水量较大,翻耕下由于莠麦生长良好,因此在此期间总耗水量大于免耕,因此含水量与免耕差异不显著,甚至低于免耕 图 3b)。

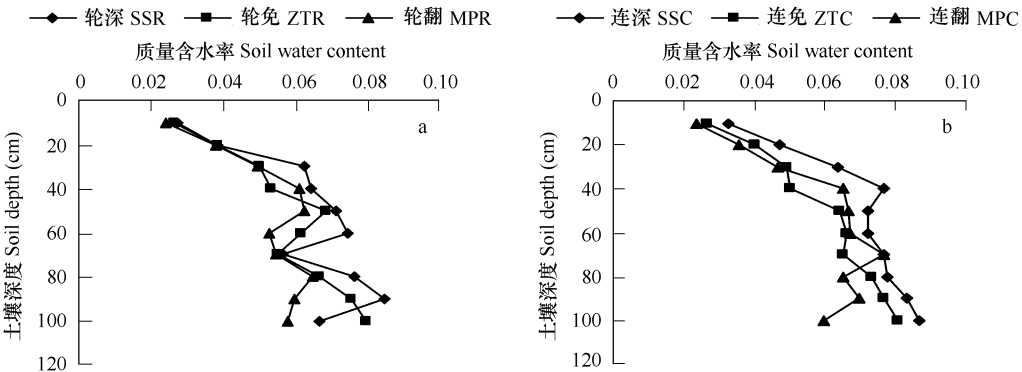


图 3 花期不同耕作方式下土壤含水量对比

Fig. 3 the comparison of soil water content between different tillage with rotation for flowering stage

4) 莠麦收获后土壤含水量对比

莠麦收获后保护性耕作与翻耕处理土壤含水量对比变化趋势 图 4a),在 1m 土层轮作模式深松处理下土壤含水量与翻耕相比均有所提高 免耕处理在浅层 30cm 土层的土壤含水量分别增加 1.47%、9.27%、14.88%,在中层 40~60cm 土层的土壤含水量与翻耕相比分别减少 9.52%、11.51%、2.16% 在深层 70~100cm 土层分别增加 28.64%、74.33%、50.40%、6.39%。

连作下的免耕与深松处理在土壤水分含量上的变化与轮作下的趋势基本相同 图 4b),可见由于深松能够有效蓄积降雨,减少土壤蒸发,因此整个莠麦生长期间,土壤水分保持最高 而免耕由于没有残茬的覆盖,不能有效降低土壤蒸发,在生育前期其上层土壤水分含量低于翻耕,而在生育后期,由于翻耕下莠麦生长状况明显好于免耕,耗水量明显增大,因此,耕层含水量免耕高于翻耕,深层含水量免耕始终高于翻耕。

2.1.2 保护性耕作覆盖条件下土壤含水量对比

在分蘖期,无论是在轮作还是在连作下,由于作物秸秆的覆盖,在 1m 土层内深松和免耕的土壤含水量一般大于翻耕^{§1}。连作下 图 5a),在 0~100cm 各个土层免耕和深松处理的含水量均高于翻耕处理。在 0~30cm 作物根层土壤,与翻耕处理相比,免耕处理的含水量分别提高了 14.48%、22.93%、20.40% 而深松处理的含水量分别增加了 29.49%、45.05%、28.15%。在 30cm 以下土层的含水量也有相应的提高。轮作下 图

表 2 不同耕作处理下开花期莠麦生物量对比

Table 2 The comparison of biomass of oat under different tillage in flowering stage

处理 Treatment	鲜重 Fresh weight (g)		株高 Plant height (m)
	根 Root	茎 Stem	
连翻 MPC	4.75c	50.55a	44.25a
连免 ZTC	2.45d	16.10d	28.00d
连深 SSC	5.45b	25.00c	39.53c
轮翻 MPR	6.30a	45.55a	41.43b
轮免 ZTR	4.50c	25.35c	38.68c
轮深 SSR	5.70b	36.15b	40.21bc

P≤0.05 水平差异显著 Significant difference at P≤0.05

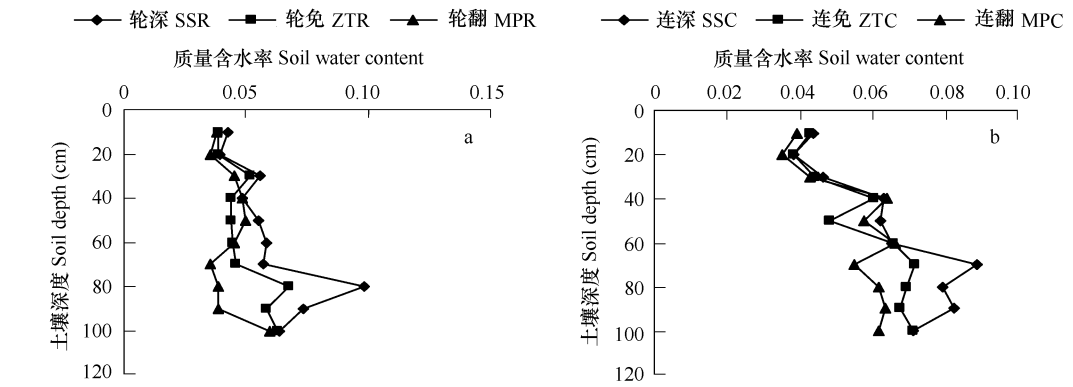


图 4 收后不同耕作方式下土壤含水量对比

Fig. 4 The comparison of soil water content between different tillage with rotation after harvest

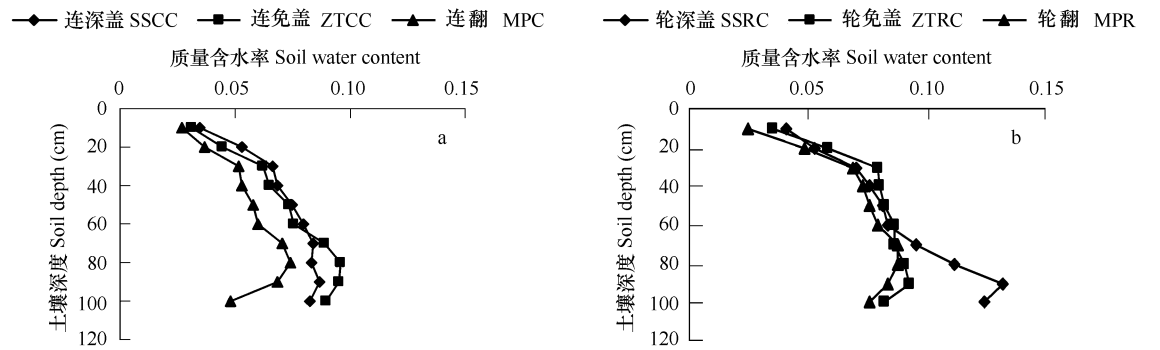


图 5 分蘖期覆盖与翻耕间含水量对比

Fig. 5 The comparison of soil water content between cover and moldboard plow under continuous for tillering

5b), 在 0 ~ 30cm 作物根层, 与翻耕处理相比, 深松处理的土壤含水量分别增加 64.1%、8.9%、1.2% 而免耕处理在 0 ~ 30cm 土层的含水量与翻耕相比分别增加了 42.9%、20.5%、14.7%。

开花期保护性耕作覆盖与翻耕间土壤含水量对比变化情况与分蘖期基本相同^[6] 图 6)。

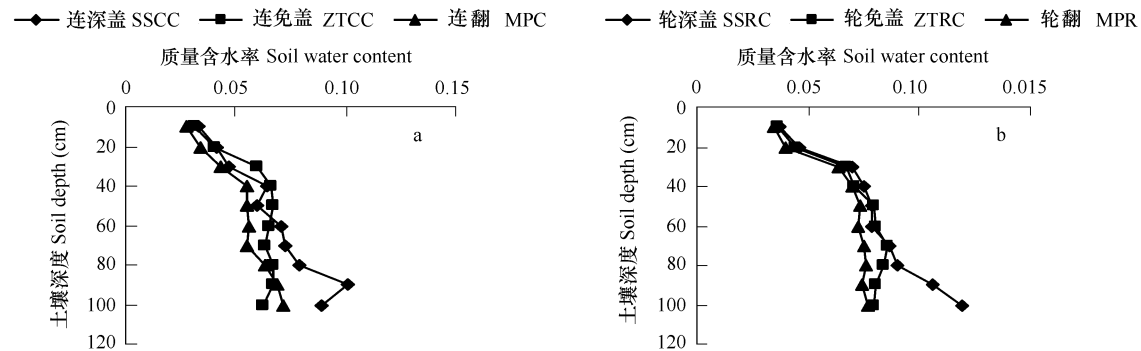


图 6 花期覆盖与翻耕间含水量对比

Fig. 6 The comparison of soil water content between cover and moldboard plow with continuous for flowering stage

2.2 同种处理不同种植模式下土壤含水量对比

2.2.1 连作与轮作间土壤含水量的对比

在莠麦不同生长期深松处理下轮作与连作两种种植模式间土壤含水量对比基本变化状况, 从表 3 可以看出, 轮作模式下在莠麦播种前、苗期、分蘖期 3 个阶段浅层土壤含水量基本高于连作, 而在深层土壤的含水量

低于连作模式 而在花期、灌浆期以至收获后,含水量开始降低。到收获后,表层 0 ~ 40cm 土层的含水量与连作相比分别降低了 2. 67%、1. 96%、4. 68%、1. 99% ,原因可能是轮作下作物生长状况明显好于连作,导致耗水量明显高于连作而减少了土壤水分含量。

表 3 深松处理下莜麦整个生育期轮作与连作间土壤质量含水量对比

Table 3 The comparison of rotation and continuous cropping in soil water content under sub-soiling during whole growing stage of oat										
深度 (m) Depth	播前 Sowing		苗期 Seedling		分蘖期 Tillering		花期 Flowering		收后 Harvest	
	轮深 SSR	连深 SSC	轮深 SSR	连深 SSC	轮深 SSR	连深 SSC	轮深 SSR	连深 SSC	轮深 SSR	连深 SSC
0 ~ 10	0. 0540 *	0. 0530	0. 0340	0. 0337	0. 0514	0. 0508	0. 0272 *	0. 0265	0. 0427 *	0. 0439
10 ~ 20	0. 0728 *	0. 0655	0. 0587	0. 0575	0. 0668	0. 0584	0. 0379 *	0. 0402	0. 0385	0. 0393
20 ~ 30	0. 0857 *	0. 0765	0. 0754 *	0. 0712	0. 0681 *	0. 0560	0. 0494	0. 0466	0. 0430 *	0. 0451
30 ~ 40	0. 0883	0. 0811	0. 0873 *	0. 0851	0. 0714	0. 0622	0. 0533 *	0. 0502	0. 0440	0. 0449
40 ~ 50	0. 0706 *	0. 0889	0. 0635 *	0. 0886	0. 0664 *	0. 0883	0. 0683 *	0. 0670	0. 0497	0. 0482
50 ~ 60	0. 0768 *	0. 1074	0. 0739 *	0. 0806	0. 0635 *	0. 0907	0. 0746	0. 0671	0. 0453 *	0. 0655
60 ~ 70	0. 0643 *	0. 1296	0. 0852 *	0. 1016	0. 0753 *	0. 0927	0. 0549 *	0. 0767	0. 0402 *	0. 0717
70 ~ 80	0. 0535 *	0. 1147	0. 0783 *	0. 0883	0. 0768 *	0. 0904	0. 0665 *	0. 0931	—	0. 0692
80 ~ 90	0. 0454 *	0. 0912	0. 0715 *	0. 0947	0. 0737 *	0. 0908	0. 0753 *	0. 0769	—	0. 0826
90 ~ 100	0. 0350 *	0. 0714	0. 0551 *	0. 0762	0. 0569 *	0. 0901	0. 0729 *	0. 0600	—	0. 0616

* 显著水平 $P\leq0.05$ significant difference at $P\leq0.05$

在整个生育期间,轮作模式在深层土壤的含水量基本低于连作模式,在苗期 50 ~ 100cm 土层,轮作模式的含水量分别比连作降低了 28. 37%、8. 25%、16. 07%、11. 33%、24. 51%、27. 7%。总体看来,在莜麦生育前期浅层土壤的含水量轮作高于连作,在生长后期轮作的土壤含水量低于连作 在深层土壤,无论是在莜麦生长的前期还是后期,轮作下的土壤含水量均低于连作模式。

对于免耕处理来说 (表 4),表现出与深松不同的趋势,在 40cm 耕层,轮作莜麦整个生育期的含水量均高于连作,原因在于免耕处理中,莜麦的生长发育不良,耗水量较少导致的。

表 4 免耕处理下莜麦整个生育期轮作与连作间土壤质量含水量对比

Table 4 the comparison of rotation and continuous cropping in soil water content under zero-tillage during whole growing stage of oat										
深度 (m) Depth	播前 Sowing		苗期 Seedling		分蘖期 Tillering		花期 Flowering		收后 Harvest	
	轮免 ZTR	连免 ZTC	轮免 ZTR	连免 ZTC	轮免 ZTR	连免 ZTC	轮免 ZTR	连免 ZTC	轮免 ZTR	连免 ZTC
0 ~ 10	0. 0577 *	0. 0527	0. 0400	0. 0331	0. 0486	0. 0456	0. 0239	0. 0235	0. 0394	0. 0387
10 ~ 20	0. 0768	0. 0767	0. 0710 *	0. 0576	0. 0599	0. 0587	0. 0385 *	0. 0355	0. 0351 *	0. 0350
20 ~ 30	0. 0803	0. 0797	0. 0908 *	0. 0740	0. 0755 *	0. 0622	0. 0624 *	0. 0494	0. 0558 *	0. 0442
30 ~ 40	0. 0783 *	0. 0884	0. 0903 *	0. 0793	0. 0712	0. 0742	0. 0651	0. 0611	0. 0484 *	0. 0506
40 ~ 50	0. 0997 *	0. 0845	0. 0989 *	0. 0741	0. 0735 *	0. 0916	0. 0715	0. 0641	0. 0549	0. 0622
50 ~ 60	0. 1073 *	0. 0865	0. 0720	0. 0748	0. 0775	0. 0833	0. 0527 *	0. 0664	0. 0585	0. 0656
60 ~ 70	0. 0911 *	0. 0815	0. 0623 *	0. 0743	0. 0712 *	0. 0741	0. 0553 *	0. 0656	—	0. 0551
70 ~ 80	0. 0881	0. 0798	0. 0519 *	0. 0820	0. 0617	0. 0674	0. 0649 *	0. 0655	—	0. 0616
80 ~ 90	0. 1025 *	0. 0688	0. 0521 *	0. 0815	0. 0512 *	0. 0723	0. 0599 *	0. 0700	—	0. 0633
90 ~ 100	0. 0852 *	0. 0575	0. 0629		0. 0447 *	0. 0888	0. 0796 *	0. 0809	—	0. 0711

* 显著水平 $P\leq0.05$ significant difference at $P\leq0.05$

而在深层土壤免耕下同样是表现出轮作含水量低于连作的趋势,只有在播种前轮作的深层土壤含水量高于连作,原因在于轮作下作物根系生长较好,消耗吸收了深层土壤水分。

2. 2. 2 覆盖与无覆盖间土壤含水量的对比

轮作免耕下覆盖与无覆盖两种模式之间土壤含水量变化情况,表 4 可以看出,整个 1m 深土层的含水量覆盖处理均明显高于无覆盖,尤其是在 0 ~ 50cm 根层含水量的增加,对莜麦作物的生长发育极其重要。轮作

深松、连作免耕和连作深松在覆盖与无覆盖之间的含水量对比存在同样的趋势,此项结果充分证明与耕作方式相比,残茬覆盖在提高土壤水分含量上作用更大。保护性耕作之所以能够增加土壤蓄水量,关键在于残茬的覆盖降低了蒸发强度,单纯的免耕不能起到有效的保持土壤水分的功能。

表 5 莜麦不同生育期下免耕处理覆盖与无覆盖间土壤质量含水量对比

深度 (m) Depth	花期 Flowering		灌浆期 Milk		收获后 Harvest	
	轮免盖 ZTRC	轮免 ZTR	轮免盖 ZTRC	轮免 ZTR	轮免盖 ZTRC	轮免 ZTR
0 ~ 10	0.0353 *	0.0239	0.0379	0.0347	0.0583 *	0.0387
10 ~ 20	0.0579 *	0.0385	0.0401	0.0402	0.0480 *	0.0351
20 ~ 30	0.0791 *	0.0624	0.0639 *	0.0466	0.0566	0.0558
30 ~ 40	0.0796 *	0.0611	0.0701 *	0.0455	0.0634 *	0.0484
40 ~ 50	0.0821 *	0.0715	0.0732 *	0.0393	0.0638 *	0.0549
50 ~ 60	0.0859 *	0.0527	0.0728 *	0.0416	0.0656 *	0.0585
60 ~ 70	0.0862 *	0.0553	0.0752 *	0.048	0.0658 *	0.0571
70 ~ 80	0.0906 *	0.0649	0.0756 *	0.0518	0.0674 *	0.0621
80 ~ 90	0.0925 *	0.0599	0.0742 *	0.0581	0.0613	0.0581
90 ~ 100	0.0817	0.0796	0.0766	0.0755	0.0699 *	0.0632

* 显著水平 $P \leq 0.05$ significant difference at $P \leq 0.05$

3 结论和讨论

() 在全年的动态监测过程中,无覆盖深松处理在整个生育期的土壤含水量均明显高于传统翻耕,而无覆盖免耕处理在增加土壤水分含量上的作用不明显,尤其是耕层的含水量低于翻耕处理,只有在深层土壤的含水量高于翻耕。其原因主要在于当地蒸发强度大,而降水少 翻耕处理打破了土壤毛细管,有效的降低了土壤水分蒸发,而免耕土壤扰动小,并且无秸秆覆盖,蒸发量大于翻耕 深松处理则具备翻耕与免耕两者的优点,能够有效的截留降雨,增强保持土壤水分能力,因此,土壤水分含量最高。

1) 在覆盖条件下,土壤水分蒸发大大降低,免耕和深松在整个生育期的 1m 深土层的各个土层的含水量均明显高于翻耕处理,并且深松处理的在增加保持土壤水分上的能力更加明显,这种情况对于作物的生长发育具有非常积极的意义,对于提高作物产量至关重要。

2) 在同种处理轮作与连作之间,无论是深松、免耕或翻耕处理,一般表现为在莜麦生育前期 (播前、苗期、分蘖期) 轮作的浅层土壤含水量高于连作,原因在于轮作一定程度上改善了土壤结构,增加保持土壤水分的能力 而在作物生育后期轮作土壤的含水率开始下降,低于连作,原因在于轮作下莜麦生长良好,此时耗水量远远大于连作下莜麦耗水量 而在深层土壤的含水量均低于连作。

3) 而覆盖与无覆盖处理之间的土壤含水量,不言而喻,在整个监测过程中,无论是深松还是免耕,覆盖处理的含水量在整个 1m 深土层均明显高于无覆盖处理,覆盖措施在提高土壤水分含量上作用大于耕作措施。

由以上的结论可以看出,要在农牧交错带尽快推广保护性耕作措施,首先是要解决农田覆盖问题,因为残茬覆盖是保护性耕作能够增加土壤含水量,尤其是表层土壤含水量的根本原因 其次,由以上研究结果表明,理论上讲,轮作深松覆盖是当地应该采用的最佳耕作措施,但由于当地缺乏足够的覆盖材料,因此,从实践上,当地农户最宜采用的保护性耕作模式为轮作深松。

References :

[1] Gao W S. Regional agricultural harmony development strategy in China. Beijing :China Agricultural University Press, 2004. 151 — 153.
[2] Willis W O, Bond J J. Soil water evaporation :reduction by simulated tillage. Soil Sci. Sot. Am. Proc, 1971, 35 526 — 529.
[3] Lafond G P, Loepky H, Derksen D A. The effects of tillage systems and crop rotations on soil water conservation, seedling establishment and crop

yield. Can. J. Plant Sci. , 1992, 72 :103 — 115.

[4] Arshad M A, Gill K S, Coy G R. . Barley, Canola, and weed growth with decreasing tillage in a cold, semiarid climate. Agron. J. , 1995, 87 : 49 — 55.

[5] Achary C L, Kapur O C, Dixit S P. Moisture conservation for rain-fed wheat production with alternative mulches and conservation tillage in the hills of north-west India. Soil & Tillage Research, 1998, 46 :153 — 163.

[6] Baumhardt R L, Jones O R. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dry-land wheat and sorghum for a clay loam in Texas. Soil &Tillage Research, 2002, 68 :71 — 82.

[7] Carter M R. Characterization of soil physical properties and organic matter under long-term primary tillage in a humid climate. Soil & Tillage Research, 1996, 38 :251 — 263.

[8] Liebig M A, Tanaka D L, Wienhold B J. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern Great Plains. Soil & Tillage Research, 2004, 78 :131 — 141.

[9] Ferrerasa L A, Costab J L, Garciab F O, *et al.* Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern “Pampa ” of Argentina. Soil & Tillage Research, 2000, 54 :31 — 39.

[10] Olaoye J O. Influence of tillage on crop residue cover, soil properties and yield components of cowpea in derived savannah ectones of Nigeria. Soil & Tillage Research, 2002, 64 :179 — 187.

[11] Jia Y M Shang C Q, Zhang Z G. Adaptability Test and Key Technology Research on Conservation Tillage. Transactions of the CSAE, 2002, 18 () :78 — 81.

[2] Wang X Y, Gao H W, Li H W, *et al.* Experimental research on influence of conservation tillage to field surface runoff and soil water erosion. Transactions of the CSAE, 2005, 16 () :56 — 69.

[3] Liao Y C, Han S M, Wen X X. Soil Water Content and Crop Yield Effects of Mechanized Conservative Tillage-Cultivation System for Dry-land Winter Wheat in the Loess Tableland. Transactions of the CSAE, 2002, 18 (4) :58 — 71.

[4] Li L L, Huang G B, Zhang R Z. Effects of conservation tillage on soil water regimes in rain-fed areas. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (4) :2326 — 2332.

[5] HeJ, Li H W, Gao H W. Subsoiling effect and economic benefit under conservationtillage mode in Northern China. Transactions of the CSAE, 2006, 22 (0) :52 — 67.

[6] Su Z Y, Yang Z L, Wang D L, *et al.* Effect of conservation tillage on water conserving on loess slope-land in west Henan Province. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22 (4) :5 — 9.

[7] Huang M B, Shao M G, Zhang L. Water use efficiency and sustainability of different long-term crop rotation systems in the Loess Plateau of China. Soil & Tillage Research, 2003, 72 :95 — 104.

参考文献：

[1] 高旺盛. 中国区域农业协调发展战略. 北京 中国农业大学出版社, 2004. 151 ~ 153.

[1] 贾延明,尚长青,张振国. 保护性耕作适应性试验及关键技术研究. 农业工程学报, 2002, 18 () :78 ~ 81.

[2] 王晓燕,高焕文,李洪文,等. 保护性耕作对农田地表径流与土壤水蚀影响的试验研究. 农业工程学报, 2005, 16 (4) :56 ~ 69.

[3] 廖允成,韩思明,温晓霞. 黄土台原旱地小麦机械化保护性耕作栽培体系的水分及产量效应. 农业工程学报, 2002, 18 (4) :58 ~ 71.

[4] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响. 生态学报, 2005, 25 (4) :2326 ~ 2332.

[5] 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. 农业工程学报, 2006, 22 (0) :52 ~ 67.

[6] 苏子友,杨正礼,王德莲,等. 豫西黄土坡耕地保护性耕作保水效果研究. 干旱地区农业研究, 2004, 22 (4) :5 ~ 9.