

不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响

李玲玲¹, 黄高宝^{1*}, 张仁陟², 晋小军¹, Guangdi LI³, Kwong Yin CHAN⁴

(1. 甘肃农业大学农业生态工程研究所, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学资源与环境学院, 兰州 730070;

3. NSW Department of Primary Industry, Wagga Wagga, NSW 2650, Australia;

4. NSW Department of Primary Industry, Richmond, NSW 2753, Australia)

摘要:研究了黄土高原西部旱农区传统耕作措施和五种保护性耕作措施对土壤水分垂直分布、动态变化、作物耗水量、水分利用效率及作物产量的影响。结果表明,不同保护性耕作措施对表层 0~10cm 土壤水分含量影响较大,免耕秸秆覆盖(NTS)在作物播种期可以显著增加播种期表层土壤含水量。0~200cm 土壤剖面贮水量年变化分春夏作物旺盛生长失墒期(5 月中旬~7 月中旬)、夏秋雨季增墒期(7 月中旬~10 月下旬)和冬春稳墒期(11 月~翌年 5 月上旬)3 个阶段。尽管不同保护性耕作措施对 0~200cm 剖面贮水量影响不大,但作物耗水量却存在显著差异。免耕秸秆覆盖在增加作物耗水量的同时也提高了作物产量以及水分利用效率。地膜覆盖在有些年份也有利于降水的高效利用和作物产量的提高,但与秸秆覆盖相比不利于土壤肥力的持续提高。而且,如果种植小麦,出苗前若一次性降水较多时地膜覆盖将造成严重板结,影响出苗,进而降低产量和水分利用效率。因此,在黄土高原西部旱农区实施免耕+秸秆覆盖的保护性耕作措施,既有利于作物对有限降水的高效利用,提高作物产量,也可以促进农业可持续发展。

关键词:免耕;秸秆覆盖;地膜覆盖;土壤水分;水分利用效率

文章编号:1000-0933(2005)09-2326-07 **中图分类号:**S152.7;S157.4+2,S181 **文献标识码:**A

Effects of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas

LI Ling-Ling¹, HUANG Gao-Bao^{1*}, ZHANG Ren-Zhi², JIN Xiao-Jun¹, Guangdi LI³, Kwong Yin CHAN⁴

(1. Agro-ecology Institute of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; 2. Resource and Environment Faculty of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; 3. NSW Department of Primary Industry, Wagga Wagga, NSW 2650, Australia; 4. NSW Department of Primary Industry, Richmond, NSW 2753, Australia). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2326~2332.

Abstract: Low and extremely variable precipitations limit dryland crop production in the semi-arid areas of the Loess Plateau. These areas are also affected by serious soil erosion, and intensive tillage of conventional agriculture has worsened the situation. Therefore, conventional tillage and five conservation agriculture patterns, that is, conventional tillage (T), conventional tillage with stubble incorporating (TS), no-till with no stubble (NT), no-till with stubble retention (NTS), conventional tillage with plastic mulching (TP) and no-till with plastic mulching (NTP) effects on soil moisture profile, soil moisture dynamics, soil water storage, evapotranspiration (ET), water use efficiency (WUE) and grain yield were studied through field experiments implemented in Dingxi from 2001 to 2004. The aim of the research is to identify a suitable conservation agriculture practice for the area. Results showed that no-till with stubble retention could increase surface (0~10cm) soil moisture content at sowing, which is very important for crop emergence because of frequent spring drought in the area. Annual dynamics for total soil water storage in the whole soil profile (0~200cm) can be divided into three periods, that

基金项目:ACIAR 资助项目(SMCN(LWR2)/1999/094);甘肃省农牧厅资助项目(034048);中国农村技术开发中心资助项目(0390993)

收稿日期:2005-03-14; **修订日期:**2005-05-23

作者简介:李玲玲(1977~),女,甘肃省甘谷县人,博士生,讲师,主要从事多熟种植、保护性农业研究. E-mail: lill@gsau.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondent. huanggb@gsau.edu.cn

Foundation item: Australia Center for International Agriculture Research (No. SMCN(LWR2)/1999/094), Agriculture and Animal Husbandry Department of Gansu Province (No. 034048), and China Rural Technology Development Center (No. 0390993)

Received date: 2005-03-14; **Accepted date:** 2005-05-23

Biography: LI Ling-Ling, Ph. D. candidate, Lecturer, mainly engaged in the multiple cropping and conservation agriculture. E-mail: lill@gsau.edu.cn

is, i) soil moisture decreasing rapid with crop growth from late spring to early summer (mid of May~mid of July), ii) soil water profile recharging during the rain season in summer and autumn (mid of July~end of October) and iii) soil moisture keeping relatively constant in winter and early spring (November~early May). Results indicated that although different conservation tillage patterns had no strong effect on total soil water storage in whole profile, there were significant differences among the *ET* of the different treatments'. Ratio between plant transpiration and soil evaporation of NTS increased significantly synchronously with increasing *ET*, and this improved the grain yield and *WUE* of NTS were improved. For the plastic mulch treatments in which plants were placed in the furrow between mulching ridges, rainfall use efficiency and grain yield were increased in some seasons, but this is a very risky practice for wheat because of serious crusting due to heavy rainfall before wheat emergence, decreasing plant density, grain yield and *WUE* significantly. More importantly, this practice couldn't improve soil fertility sustainably. Therefore, no-till with stubble retention would not only improve rain water use efficiency and grain yield, but can also improve the sustainable development of agriculture in this region in the long-term.

Key words: no till; stubble retention; plastic mulching; soil moisture; water use efficiency

降水总量有限且年变率和季节变率大(见表 1),导致旱灾频繁是黄土高原西部干旱半干旱区作物生产的主限因子之一,同时该区也是我国水土流失最严重的地区。黄土质地疏松,抗蚀能力差,雨量少而集中,是造成该区水土流失严重和土地生产力水平低下的主要原因。传统农业的精耕细作更加剧了水土流失和生产力水平的降低^[1,2]。因此,采取适宜的保护性农业技术措施,尽量减少农田水分的非生产性水分消耗,提高水分的生产效率,既可以提高生产力水平,又可以减少水土流失,改善生态环境^[3,4]。少耕、秸秆覆盖及少耕结合秸秆覆盖可以蓄水保墒,提高作物产量^[3~11]。也有一些研究发现免耕或免耕秸秆覆盖增加土壤含水量、减少水土流失及提高产量的效果优于传统耕作和少耕^[12~17]。等高沟垄耕作、带状耕作也是旱作农区可持续发展的有效措施^[18,19]。本文通过对黄土高原西部半干旱区传统农业措施和 5 种不保护性耕作措施下土壤水分的变化、作物耗水量、水分利用效率及作物产量进行比较研究,旨在探索适合该区的蓄水保墒的保护性农业技术体系,确立该区保护性农业发展方向。

表 1 试区 2001~2004 年各月降水量与多年平均月降水量(1970~2004 年)

Table 1 Monthly rainfall (mm) in 2001~2004 compared with long-term average (1970~2004)													
项目 Item	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.	年降水量 Annual
2001	9.2	9.4	0	36.1	11.6	55.0	64.1	57.7	88.2	21.3	0	3.9	356.5
2002	4.8	9.2	15.8	28.3	69.1	60.0	62.3	42.5	25.9	27.7	2.7	2.4	350.7
2003	6.5	0	36.4	22.0	66.8	57.5	84.5	148.7	66.9	65.2	10.0	0	564.5
2004	7.4	1.0	9.5	2.8	49.4	49.1	69.6	62.0	56.3	14.0	5.8	4.6	344.5
多年平均 Average	3.3	4.6	12.1	28.0	44.6	53.4	77.4	82.6	49.5	28.5	5.3	1.6	390.9
变异系数 CV(%)	81.2	82.8	66.2	66.4	61.8	44.6	56.9	42.7	52.7	52.2	132.9	137.2	17.45

1 材料与方法

(1)试区概况 试验于 2001~2004 年在甘肃农业大学定西旱农生态综合试验站实施。该区年日照时数 2476.6h,年均温 6.4℃,≥10℃积温 2239.1℃,年降雨量 390.9mm(表 1),年蒸发量 1531mm,为黄土高原西部典型的半干旱雨养农业区,一年一熟,春小麦、豌豆分布面积最大。

(2)供试土壤特性 试区土壤为典型的黄绵土,主要理化特性如表 2 所示。

(3)参试作物 春小麦(*Triticum aestivum* L.)定西 35 号和豌豆(*P. arvense* L.)燕农年间轮作。试验地前茬为胡麻(*Linum usitatissimum* L.)。

1.4 试验设计

试验共设 6 个处理,如表 3 所示。结合小麦豌豆的年间轮作,为了加快研究进程,研究设计了小麦→豌豆(2002 年小麦→2003 年豌豆→2004 年小麦,简称 W→P→W)和豌豆→小麦(2002 年豌豆→2003 年小麦→2004 年豌豆,简称 P→W→P)两个轮作序列,4 次重复,共 48 个小区,小区面积 4×20m²,随

表 2 试区土壤主要理化性质(2001-08-20)

Table 2 Physical and chemical properties of the soil					
层次 Layer (cm)	容重 Bulk density (g/cm ³)	土壤排水 上限(DUL) Drainage upper limit (cm ³ /cm ³)	小麦有效 水分下限 (CLL小麦) Wheat lower limit (cm ³ /cm ³)	豌豆有效 水分下限 (CLL豌豆) Field pea lower limit (cm ³ /cm ³)	有机质 Organic Matter (g/kg)
0~5	1.29	0.27	0.09	0.10	13.15
5~10	1.23	0.27	0.09	0.10	12.86
10~30	1.32	0.27	0.09	0.10	11.95
30~50	1.20	0.27	0.09	0.10	11.43
50~80	1.14	0.26	0.09	0.12	12.58
80~110	1.14	0.27	0.11	0.15	12.91
110~140	1.13	0.26	0.11	0.26	11.38
140~170	1.12	0.26	0.12	0.26	11.22
170~200	1.11	0.26	0.13	0.26	10.60

机区组排列。2001 年 8 月开始布置试验,所有秸秆还田处理全部覆盖小麦秸秆 4500kg/hm²,以后每年收获后所有秸秆归还原小区。

表 3 试验处理描述
Table 3 Treatments description

代码 * Code	处理 Treatments	操作方法 Desription
T	传统耕作	作物收获后至冻结前三耕两耱
TS	传统耕作+秸秆还田	耕作方式同 T,但在结合第一次耕作将所有前作秸秆翻埋入土
NT	免耕	全年不耕作,播种时用免耕播种机一次性完成施肥和播种,收获后用 2,4-D 和草甘磷除草
NTS	免耕+秸秆覆盖	耕作、播种、除草方法同 NT,收获脱粒后将全部前作秸秆覆盖在原小区
TP	传统耕作+地膜覆盖	耕作方式同 T,最后一次耱地后覆盖地膜,垄宽 30cm,间距 20cm,来年用膜侧播种机在垄间播种
NTP	免耕+地膜覆盖	全年不耕作,覆膜及播种的时间、方式同 TP

* 下同 the same below

春小麦每年 3 月中旬播种,播量 187.5kg/hm²,行距 20cm。每公顷施纯 N 105kg(尿素,46%N),纯 P₂O₅ 105 kg(过磷酸钙,14%P₂O₅)。豌豆每年 4 月上旬播种,播量 180kg/hm²,行距 24cm。每公顷施纯 N 20kg(尿素,46%N),纯 P₂O₅ 105kg(过磷酸钙,14%P₂O₅)。

1.5 土壤水分测定 每月测定两次土壤水分含量,测定层次分布如下:0~5cm,5~10cm,10~30cm,30~50cm,50~80cm,80~110cm,110~140cm,140~170cm,170~200cm,其中 0~10cm 用烘干法测定,10~200cm 用中子水分仪测定。冬季冻结期间停止测定。

1.6 水分利用效率(WUE)的计算

$$WUE\text{ (kg/(mm}\cdot\text{hm}^2)) = \text{经济产量} / ET$$

作物生长期间的蒸散量(ET)用下式计算:ET (mm)=P-△S,其中 P 是作物生长期间的降水量(mm),△S 是收获期与播种期土壤剖面水分含量(mm)之差。

1.7 数据分析 数据分析采用 DPS 统计分析软件。

2 结果与分析

2.1 播种期土壤剖面的水分状况分析

由表 4 可以看出,不论是播期较早的小麦还是播种相对较晚的豌豆,一般播种期表层土壤比下层干。不同保护性耕作措施对小麦播种期土壤含水量的影响主要在 0~10cm 土层。免耕秸秆覆盖处理(NTS)在 2002 年和 2003 年明显提高了表层水分含量。2004 年 NTS 处理表层含水量依然最高,但两个地膜覆盖处理含水量也较高,主要原因可能是测定前一天降了 2.6mm 水,地膜起到了很好的集水作用,水分测定又恰好在垄间;而且由于 2003 年秋季降水丰富,2004 年各处理表层土壤水分含量都比较高,处理之间差异较小。对于豌豆,NTS 处理在 2002 年和 2003 年也明显提高了播种期表层土壤含水量,特别是 2003 年,NTS 处理 0~5cm 土层含水量是 T 处理的 1.55 倍,是 TS 处理的 1.68 倍;2004 年 NTS 处理也无明显优势。

在旱农生产中,与作物出苗情况关系最密切的是表层土壤水分状况,春旱比较突出是黄土高原半干旱雨养农业区气候特征之一。免耕秸秆覆盖一般情况下能明显提高春季作物播种期表层土壤含水量,这对该地区保证作物苗全、苗壮具有十分重要的意义,也直接关系到产量的高低。

2.2 开花期土壤剖面水分特点

小麦开花灌浆期土壤剖面的水分状况如表 4,其特点为年际间变化较大而处理间变异相对较小。与播种期相比,0~30cm 土层含水量因受降水的影响变化趋势不一致。2002 年和 2004 年开花期 0~30cm 含水量比播种期明显减少,2002 年可能由于测定前 5d 无降水的原因各处理 0~5cm 土层含水量甚至减少到小麦有效水分下限(表 2)之下;2003 年则又显著增加,这与 2003 年 6 月 25 日 13.5mm,29 日 6.4 mm,30 日 3.9 mm 的降水有关。30~80cm 土层含水量比播种期明显减少,特别是 2004 年降幅最高,甚至在 80~110cm 层次都有所减少。一般 80cm 以下水分含量基本无变化。

豌豆开花结荚期土壤剖面的水分状况(表 4)总体上与小麦开花灌浆期相似,年际间变化较大而处理间变异相对较小,只是土壤剖面比小麦开花灌浆期更干,而且从播种到出苗期间 50~80cm 土层含水量的变化小于小麦。

这说明在小麦开花灌浆期和豌豆开花结荚期,保护性耕作措施对土壤含水量影响较小,表层部分根系已经死亡,降水成为影响表层土壤含水量的主要因素。此期小麦活跃根系主要集中在 30~80cm 土层吸收水分,根系发达的年份(如 2004 年),水分吸收更多,吸收层次可深入到 110cm,而豌豆根系分布相对较浅,所以吸收利用深层土壤水分的能力比小麦差。

表 4 2002~2004 年作物播种期和开花期土壤剖面的水分含量(cm³/100cm³)

Table 4 Soil moisture profile at sowing and anthesis 2002~2004(cm³/100cm³)

生育时期 Stage	作物 crop	深度 Depth(cm)	2002						2003						2004					
			T	TS	NT	NTS	TP	NTP	T	TS	NT	NTS	TP	NTP	T	TS	NT	NTS	TP	NTP
播种期 Sowing	小麦 Wheat	2.5	10.2	11.4	10.7	19.5	11.3	10.0	7.0	7.6	8.0	12.4	9.9	10.2	15.7	17.8	15.5	20.2	17.3	20.2
		7.5	15.2	16.4	14.1	20.1	17.1	15.8	9.6	10.8	10.3	13.5	12.3	12.8	19.9	21.6	18.5	21.1	19.6	20.0
		20	20.1	20.7	20.2	21.5	20.0	21.0	15.3	17.2	16.5	16.2	15.9	16.0	19.9	19.1	21.1	20.2	21.1	22.7
		40	15.1	14.8	15.3	16.3	13.7	14.8	13.5	14.1	13.4	13.7	13.3	12.9	19.2	18.6	19.3	20.0	18.8	21.2
		65	13.3	14.6	13.7	13.9	12.7	13.1	13.4	14.0	14.0	13.2	12.6	12.9	18.2	18.0	18.3	18.8	17.4	18.0
		95	14.0	13.4	14.1	13.4	13.5	13.9	13.6	14.3	14.6	14.0	13.5	13.3	17.7	16.5	17.2	17.4	17.2	18.4
		125	14.8	14.5	15.5	14.0	15.3	15.3	14.2	14.9	15.9	14.2	14.2	14.1	17.2	15.8	16.3	17.9	17.4	17.9
		155	15.9	15.4	16.3	14.9	15.7	15.7	15.6	15.7	16.5	14.9	14.5	14.8	16.6	15.6	16.4	17.4	17.5	17.8
		185	16.1	16.2	16.8	16.2	16.2	16.3	15.0	16.0	16.4	15.6	15.0	15.7	17.0	15.6	16.8	16.8	16.6	17.3
	豌豆 Field pea	2.5	16.9	16.7	15.3	21.8	17.5	16.4	14.2	13.1	13.9	22.1	13.9	14.4	9.9	16.2	11.9	11.0	17.5	14.3
		7.5	23.3	22.9	22.0	24.3	23.8	21.8	17.1	17.5	16.9	21.3	17.7	18.9	18.4	16.5	16.8	19.4	17.5	20.0
		20	21.4	21.7	20.4	22.5	21.3	21.0	14.3	14.2	15.2	16.9	16.2	17.7	20.0	21.9	21.0	21.7	21.6	21.5
		40	15.3	15.4	14.2	16.9	14.4	14.8	11.8	11.4	12.4	12.1	11.5	13.2	19.1	19.4	18.4	19.3	18.9	18.9
		65	13.6	13.7	13.2	14.9	12.6	13.2	12.4	11.2	12.5	11.3	11.8	12.4	18.4	18.1	17.9	19.2	17.7	18.4
		95	13.6	13.8	14.2	14.1	13.2	13.6	13.7	12.7	13.4	12.3	13.0	13.6	17.2	17.5	17.5	18.2	17.4	18.4
		125	14.8	14.7	15.5	14.7	13.9	14.3	14.2	13.1	14.6	13.3	14.3	14.7	16.2	15.6	17.2	17.2	15.7	17.1
		155	16.1	15.8	16.6	15.2	14.7	15.5	15.6	14.4	15.8	14.1	15.2	14.6	16.0	16.0	17.3	16.5	15.2	16.9
		185	17.0	15.8	17.4	16.5	15.4	16.6	15.5	14.9	16.3	15.2	15.6	15.6	17.1	16.3	18.0	16.2	15.2	16.7
开花期 Anthesis	小麦 Wheat	2.5	7.2	6.4	7.2	8.5	8.2	7.3	22.9	24.7	24.1	24.9	24.3	24.4	17.1	16.6	15.8	19.8	15.5	16.6
		7.5	8.6	8.9	9.2	8.7	10.7	10.2	20.2	20.5	20.4	19.7	22.3	20.2	16.3	14.9	15.0	13.9	14.6	16.0
		20	14.7	14.8	15.5	14.8	15.4	17.1	16.6	16.4	16.3	16.0	15.8	16.1	9.3	8.5	9.6	8.4	9.5	9.9
		40	10.9	10.9	12.2	11.2	11.4	13.0	11.8	11.6	11.1	10.8	10.1	11.5	10.1	9.9	11.2	9.3	9.5	11.4
		65	12.3	12.0	13.1	11.5	12.5	13.2	12.7	13.2	12.5	12.1	11.7	12.0	11.9	12.0	12.8	10.9	10.6	12.7
		95	14.1	13.3	14.3	13.1	13.6	14.4	13.8	14.2	14.5	13.9	12.9	13.6	14.5	14.2	14.1	12.7	12.7	14.9
		125	15.0	14.7	16.1	14.2	15.1	15.5	14.3	14.7	15.1	14.4	13.9	14.0	15.0	14.5	14.8	14.9	14.0	15.6
		155	16.2	15.4	16.4	15.2	15.8	15.7	15.4	15.6	16.3	15.1	14.6	14.9	15.4	14.4	15.7	16.1	15.7	16.6
		185	16.6	16.3	16.8	16.3	16.3	16.4	16.4	15.7	17.2	15.7	14.9	15.8	15.6	14.4	15.6	15.9	15.4	15.9
	豌豆 Field pea	2.5	4.1	1.6	2.9	3.5	3.6	3.0	6.3	7.4	6.3	8.1	7.1	7.5	11.1	11.6	11.1	11.1	10.7	10.8
		7.5	6.5	6.4	7.0	6.4	6.7	5.4	9.3	9.0	9.6	9.4	9.5	9.4	11.5	12.5	10.9	11.0	12.6	12.2
		20	17.9	18.7	17.9	18.6	18.1	18.0	15.1	14.4	15.7	15.2	16.0	15.2	9.4	10.2	12.1	8.8	12.0	10.6
		40	14.4	14.6	14.2	15.3	13.7	14.3	12.7	12.0	13.4	12.5	12.5	13.9	13.5	14.2	13.8	12.4	15.0	13.3
		65	14.1	14.0	13.8	15.7	13.6	13.7	12.7	11.9	12.9	12.0	12.3	13.1	15.1	15.1	14.5	15.2	15.1	15.0
		95	14.1	14.1	14.6	14.5	13.6	13.9	13.6	12.6	13.6	12.8	13.1	14.0	15.8	16.2	16.5	16.4	16.1	16.7
		125	14.9	15.0	16.0	14.6	14.5	14.5	14.3	13.4	14.7	13.5	14.3	14.9	14.9	15.0	16.0	16.5	15.0	15.9
		155	16.3	16.2	16.7	15.4	15.0	15.7	15.2	14.4	15.9	15.0	15.5	15.5	14.9	15.1	16.6	15.6	14.1	15.9
		185	17.1	15.9	17.4	16.8	15.4	16.3	15.8	15.4	16.3	15.2	15.5	15.7	15.6	14.9	16.3	15.4	14.0	15.7

2.3 不同处理 2001~2004 年间水分变化态势

图 1 和图 2 为两个轮作序列 0~200cm 土壤剖面贮水量的变化动态。由于在不同时段影响土壤剖面贮水量的因子各异,所以处理间差异在不同的时期不同。从 2001 年 8 月至 2004 年 10 月各个测定时期的平均贮水量看,豌豆→小麦轮作系统 T、TS、NT、NTS、TP、NTP 处理分别为 310、313、315、313、300、307mm,小麦→豌豆轮作系统 T、TS、NT、NTS、TP、NTP 处理分别为 302、295、307、300、299、312mm,因此总体上不同保护性耕作措施对土壤剖面上水分总量的影响不大。土壤剖面贮水量年际间变化较大,而且试区土壤剖面总的水分含量在试验期间从未达到土壤排水上限(DUL),即作物有效水分的上限。

总体上可将水分年变化分 3 个时期:(1)春夏作物旺盛生长失墒期(5 月中旬~7 月中旬),此期为春小麦拔节~开花期,豌豆分枝-成熟期,作物生长旺盛,春小麦耗水量约 160mm,豌豆略少一些^[21],而该时期多年平均降水量仅 121.4 mm,因此土壤含水量迅速下降。(2)夏秋雨季增墒期(7 月中旬~10 月下旬),该时期是黄土高原地区的雨季,多年平均降水 198.2 mm,土壤水分开始恢复与积累,随着这一时期的结束,土壤剖面含水量达到年内的最高值。但是,在此期相对干旱的年份,土壤无明显增墒现象,如 2002 年该时期降水仅 122.8 mm,由图 1 和图 2 都可以看出 2002 年无明显增墒。(3)冬春稳墒期(11~翌年 5 月上旬),冬季气温较低,降水很少,土壤封冻后土壤水分呈稳定状态,春季解冻后 3 月中旬开始播种,在作物拔节或分枝前耗水量较少,而该时期多年平均降水量也仅 53.8 mm,因此 11 月份~翌年 5 月上旬土壤含水量比较稳定。

2.4 不同保护性耕作措施对作物耗水量的影响

不同保护性耕作措施下作物的耗水量如表 5 所示。不论小麦还是豌豆,采用免耕秸秆覆盖的方式(NTS)作物耗水最多,免耕(NT)的作物耗水最少,除 2004 年豌豆外不同年份 NTS 与 NT 之间差异均达显著水平。以 3a 的平均值比较,NTS 处理的小麦分别比 T、TS、NT、TP、NTP 多消耗 9.50、13.24、29.12、12.24、14.37mm 的水分;NTS 处理的豌豆分别比 T、TS、NT、TP、NTP 多消耗 6.64、10.11、13.50、11.19、9.96mm 的水分。因此,与免耕相比,免耕秸秆覆盖的保护性农业措施显著增加了作物

生长期间蒸腾和棵间蒸发的总量。

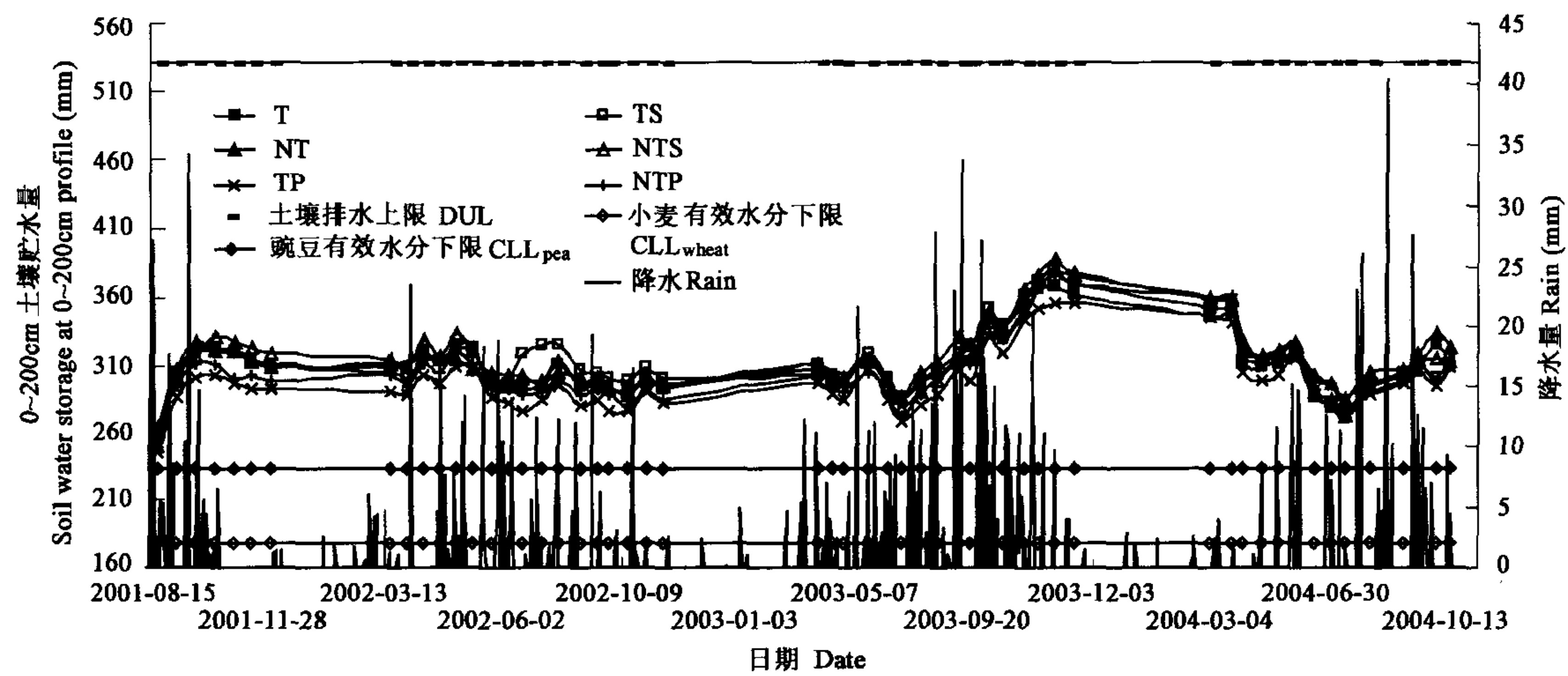


图 1 豌豆→小麦轮作系统(P→W→P)0~200cm 土壤剖面贮水量的动态变化
Fig. 1 Dynamics of soil water storage at 0~200cm profile over seasons(P→W→P)

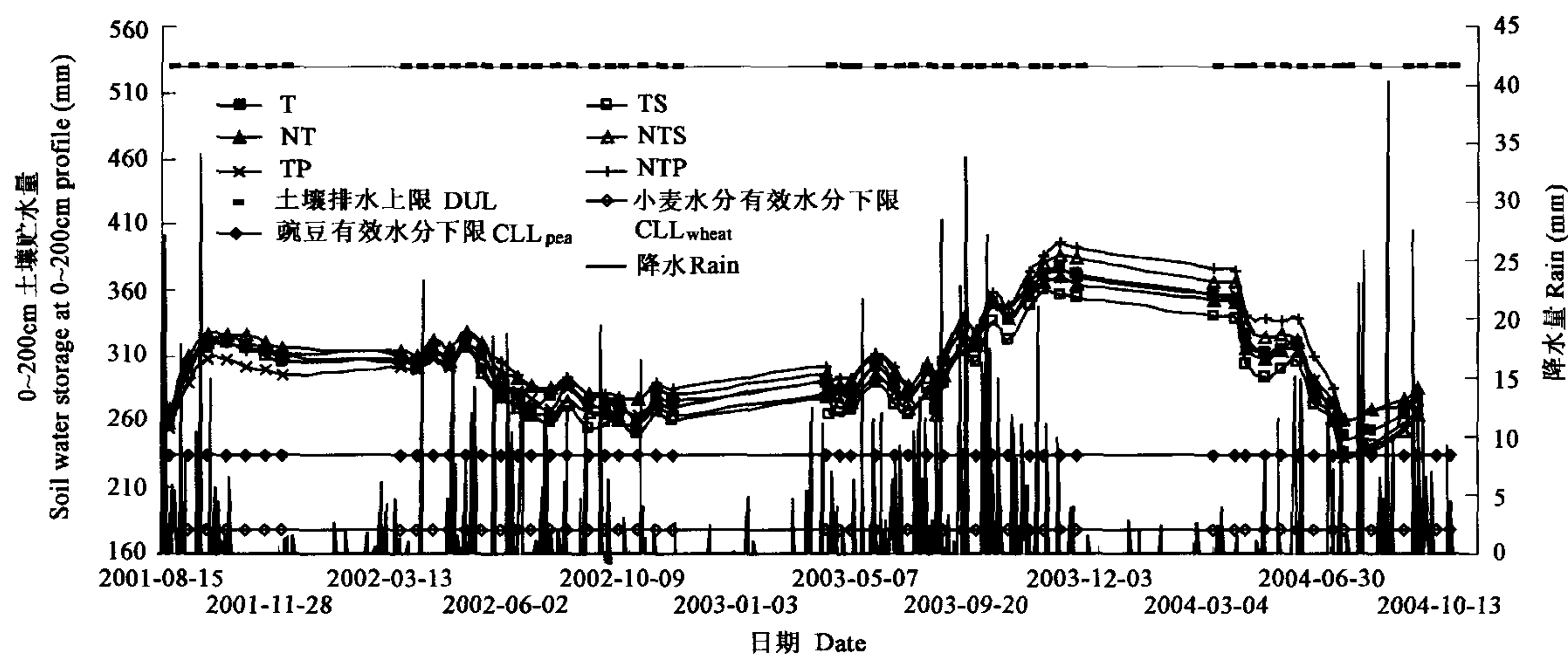


图 2 小麦→豌豆轮作系统(W→P→W)0~200cm 土壤剖面贮水量的动态变化
Fig. 2 Dynamics of soil water storage at 0~200cm profile over seasons(W→P→W)

表 5 不同保护性耕作措施对作物耗水量的影响(mm)

作物 Crop	年份 Year	处理 Treatments					
		T	TS	NT	NTS	TP	NTP
春小麦 Spring wheat	2002	261.34a	267.81a	243.16b	266.51a	246.85b	247.83b
	2003	295.16a	283.13ab	274.04b	292.51a	288.53ab	288.60ab
	2004	279.86bc	274.22bc	260.33c	305.85a	292.77ab	285.32ab
豌豆 Field pea	2002	183.92a	179.37ab	172.46b	180.87ab	179.10ab	173.75ab
	2003	175.93ab	172.98b	171.88b	189.24a	176.60ab	178.80ab
	2004	198.03a	195.11a	192.95a	207.66a	188.51a	195.35a

同一行上的不同小写字母表示同一年不同处理间在 5%水平上的显著差异(lsd) Different lowercase in the same row represents significant difference at $p\leq 0.05$ between treatments in same year(lsd)

2.5 不同保护性耕作措施下的作物产量表现

3a 的产量结果如表 6 所示。对于小麦,2002 年免耕秸秆覆盖(NTS)处理产量最高,与其他处理间的差异达到显著水平,TP 和 NTP 最低,因为 2002 年小麦播种后出苗前有一次 23.5mm 之多的降水(4 月 4 日),使得地膜覆盖处理板结严重,出苗很差,最终导致 TP 和 NTP 产量较低。2003 年 NTP 产量最高,NTS 表现相对较差。2004 年 TP 最高,NTS 次之,但 NTS 与 TP 间差

异不显著,而与其他处理间的差异达到显著水平。豌豆的 NTS 在 2002 年和 2003 年产量都是最高的,2004 年所有处理产量在 5%水平上均无显著差异。因此,免耕秸秆覆盖一般情况下都可以提高春小麦和豌豆的产量,地膜覆盖在有些年份也可以提高作物产量,但与 NTS 相比风险性较大,出苗前降水较多的年份反而会显著降低产量。

表 6 不同保护性耕作措施下作物的经济产量(kg/hm²)
Table 6 Grain yield of different treatments(kg/hm²)

作物 Crop	年份 Year	处理 Treatment					
		T	TS	NT	NTS	TP	NTP
春小麦 Spring wheat	2002	1816.05b	1735.75b	1413.50c	2150.67a	1385.39c	1258.42c
	2003	1416.05d	1645.75cd	1544.73d	1825.48bc	2033.07ab	2139.88a
	2004	2188.94b	2162.09b	1664.10c	2381.99ab	2625.36a	2170.90b
豌豆 Field pea	2002	1652.82ab	1526.77bc	1416.28c	1789.72a	1614.00ab	1528.72bc
	2003	881.35bc	823.07c	803.15 c	1269.47a	1061.76b	1022.31b
	2004	1708.21a	1681.25a	1495.58a	1667.59a	1761.66a	1511.93a

同一行上的不同小写字母表示同一年不同处理间在 5%水平上的显著差异(lsd) Different lowercase in the same row represents significant difference at $p\leq 0.05$ between treatments in same year(lsd)

2.6 不同保护性耕作措施对作物水分利用效率的影响

由表 7 可以看出,不同保护性耕作措施对春小麦和豌豆水分利用效率的影响效果与产量基本相似,一般免耕秸秆覆盖(NTS)能够提高春小麦和豌豆的水分利用效率,TP 与 NTP 在有些年份也可以提高作物水分利用效率,但也是风险性较大,出苗前降水较多的年份反而会显著降低 WUE。

表 7 不同保护性耕作措施下作物的水分利用效率(kg/(hm²·m))
Table 7 WUE of different treatments(kg/(hm²·m))

作物 Crop	年份 Year	处理 Treatment					
		T	TS	NT	NTS	TP	NTP
春小麦 Spring wheat	2002	6.93b	6.45bc	5.80cd	8.06a	5.60cd	5.06d
	2003	4.81d	5.78c	5.62cd	6.24bc	7.03ab	7.40a
	2004	7.81ab	7.89ab	6.38b	7.83ab	9.00a	7.70ab
豌豆 Field pea	2002	8.99ab	8.47b	8.28b	9.89a	9.02ab	8.79ab
	2003	5.01cd	4.74d	4.66d	6.70a	5.97ab	5.71bc
	2004	8.64ab	8.62ab	7.74b	8.03ab	9.40a	7.70b

同一行上的不同小写字母表示同一年不同处理间在 5%水平上的显著差异(lsd) Different lowercase in the same row represents significant difference at $p\leq 0.05$ between treatments in same year(lsd)

3 小结与讨论

3.1 不同保护性耕作措施对表层土壤水分含量影响较大,免耕秸秆覆盖在作物播种期可以减少表层水分蒸发,显著增加表层土壤含水量,对确保苗齐、苗壮具有重要意义。但随着生育进程的推进,作物覆盖度增加,蒸腾作用在蒸散量中占据主导地位,秸秆覆盖的抑蒸效果逐渐减弱。到开花期,不同保护性农业措施对土壤含水量影响较小。

3.2 黄土高原西部旱农区 0~200cm 土壤剖面贮水量(水分总量)的年变化分 3 个阶段:(1)春夏作物旺盛生长失墒期(5 月中旬~7 月中旬);(2)夏秋雨季增墒期(7 月中旬~10 月下旬);(3)冬春稳墒期(11 月~翌年 5 月上旬)。

3.3 由于影响土壤贮水量的因子较多,在同样的降水条件下,尽管不同保护性耕作措施对整个剖面上水分总量影响不大,但作物耗水量却存在显著差异。免耕秸秆覆盖显著增加了作物耗水量,其作物产量以及水分利用效率也显著提高,说明免耕秸秆覆盖在增加作物耗水量的同时也提高了作物蒸腾耗水与棵间蒸发量的比例。

3.4 地膜覆盖处理采用膜侧播种方法,利用地膜覆盖可将有限降水集中到作物根区。这种模式在降水有限的黄土高原西部旱农区有些年份确实有利于土壤水分的高效利用和作物产量的提高,但在出苗前若一次性降水较多,地膜覆盖将造成严重板结,影响出苗,进而降低产量和水分利用效率。此外,地膜覆盖在提高产量的同时收获时秸秆被全部移出农田生态系统物质循环,不利于土壤肥力的持续提高。

总之,在黄土高原西部旱农区实施免耕秸秆覆盖的保护性农业措施,既有利于作物对有限降水的高效利用,提高作物产量,也可以促进农田生态系统的良性循环,持续提高土壤肥力。

References:

[1] Castro Filho C, Henklain J C, Vieira M J, *et al.* Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 1991, 20(2-4):271~283.

- [2] Li L L, Huang G B and Zhang R Z. Conservation agriculture development in western Loess Plateau of Gansu province. In: Gao W S ed. Food security and farming system development. Changsha: Hunan Scientific & Technological Press, 2004. 185~188.
- [3] Singha G, Laryeab K B, Karwasrac S P, *et al.* Pathak etc. Tillage methods related to soil and water conservation in south Asia. *Soil & tillage research*, 1993, **27**(1-4):273~282.
- [4] Franzluebbers A J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil & Tillage Research*, 2002, **66**:197~205.
- [5] Moreno F, Pelegrin F, Fernández J E. Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil and Tillage Research*, 1997, **41**(1-2): 25~42.
- [6] López M V and Arrúe J L. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil and Tillage Research*, 1997, **44**(1-2):35~54.
- [7] López M V, Arrúe J L and Sánchez-Girón V. A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragón. *Soil and Tillage Research*, 1996, **37**(4):251~271.
- [8] Freebairn D M, Loch R J and Cogle A L. Tillage methods and soil and water conservation in Australia. *Soil and Tillage Research*, 1993, **27**(1-4):303~325.
- [9] Du S Y, Tian E P, Wen M, *et al.* The overall effects of stubble mulching farmlands and its technical series. *Agricultural Reasch in the Arid Areas*, 1994, **12**(2):88~94.
- [10] Sun H G, Ren T S. Effect of standing-stubbles and full-straw mulching on soil moisture and temperature in winter wheat fields, *Agricultural Reasch in the Arid Areas*, 1996, **14**(2):1~4.
- [11] Shen Y H, Huang X G, Wang H Q. Field effects of straw mulching. *Agricultural Reasch in the Arid Areas*, 1998, **16**(1): 45~50.
- [12] Pelegrin F, Moreno F, Martin-Aranda J, *et al.* The influence of tillage methods on soil physical properties and water balance for a typical crop rotation in SW Spain. *Soil and Tillage Research*, 1990, **16**(4):345~458.
- [13] Larney F J and Lindwall C W. Rotation and tillage effects on available soil water for winter wheat in a semi-arid environment. *Soil and Tillage Research*, 1995, **36**(3-4):111~127.
- [14] Fuentes P Juan, Flury Markus, Huggins R David, *et al.* Soil water and nitrogen dynamics in dryland cropping systems of Washington State, USA. *Soil & Tillage Research*, 2003, **71**:33~47.
- [15] Lampurlane's J, Cantero-Martínez C. Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil & Tillage Research*, 2005.
- [16] Franzluebbers A J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil & Tillage Research*, 2002, **66**:197~205.
- [17] Baumhardt R L, Jones O R. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil & Tillage Research*, 2002, **68**:71~82.
- [18] Licht A Mark, Al-Kaisi Mahdi. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil & Tillage Research*, 2005, **80**:233~249.
- [19] Gumbs F A. Tillage methods and soil and water conservation methods in the Caribbean. *Soil and Tillage Research*, 1993, **27**(1-4):341~354.
- [20] Gong J H G B, Chen L D, *et al.* Comprehensive ecological effect of straw mulch on spring wheat field in dryland area. *Agricultural Reasch in the Arid Areas*, 2003, **21**(3):69~73.
- [21] Ma S J. Crops, variety and its culture technologies for rainfed farming. In: Ma S J ed. *Rainfed agriculture*. Beijing: Agricultural Press, 1991. 204~235.

参考文献:

- [2] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟. 甘肃黄土高原西部保护性农业发展研究. 见: 高旺盛主编. 粮食安全与农作制度建设. 湖南科技出版社, 2004. 188~200.
- [9] 杜守宇, 田恩平, 温敏, 等. 秸秆覆盖还田的整体功能效应与系列化技术研究. 干旱地区农业研究, 1994, **12**(2):88~94.
- [10] 孙海国, 任图生. 直立作物残茬和整株秸秆覆盖对麦田土壤湿度及温度的影响. 干旱地区农业研究, 1996, **14**(2):1~4.
- [11] 沈裕琥, 黄相国, 王海庆. 秸秆覆盖的农田效应. 干旱地区农业研究, 1998, **16**(1):45~50.
- [20] 巩杰, 黄高宝, 陈利顶, 等. 旱作麦田秸秆覆盖的生态综合效应研究. 干旱地区农业研究, 2003, **21**(3):69~73.
- [21] 马世均. 旱农作物、品种和栽培技术. 见马世均主编. 旱农学. 北京: 农业出版社, 1991. 204~235.