

晋西旱塬地覆盖耕作农田土壤水分有效性研究

张宝林^{1,2}, 陈 阜¹

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100094;

2. 山西省农业科学院农产品综合利用研究所, 山西 太原 030031)

摘要: 根据多年农田试验和定位观测的结果, 在分析旱塬农田土壤水分曲线特征的基础上, 从耕层土壤和深层土壤两个层次研究了覆盖耕作对农田土壤水分有效性的影响, 包括有效水含量、速动易效水与缓动易效水。结果表明: 免耕覆盖量 $10\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的处理耕层土壤总有效水含量最高, 免耕覆盖量 $7\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的处理次之, 常规耕作最低; 深层土壤有效水量的变化趋势也随秸秆覆盖量的增加而增加, 常规耕作和免耕无覆盖差异不大, 免耕覆盖量 $10\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 比常规耕作高 $34.5\ \text{mm}$; 耕层和深层土壤速动易效水与缓动易效水整体上均随秸秆覆盖量增加而增加, 速动易效水较缓动易效水含量低。

关键词: 晋西; 旱塬地; 覆盖耕作; 土壤水分; 有效性

中图分类号: S157.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2005)03-0057-05

Availability of Soil Water under Mulch Tillage in Jinxi Highland

ZHANG Bao-lin^{1,2}, CHEN Fu¹

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Institute of Comprehensive Utilization of Agriculture Products, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract: This paper analyzed the soil water characteristic curve of Jinxi highland region according to the field trial. On the basis of this, the effects of mulch tillage on soil water availability at plough layer and deep soil layer was discussed in detail. In plough layer, the total soil available water of no-tillage with $10\ 500\ \text{kg}/\text{ha}$ residue was the highest and that of conventional tillage was the lowest. To the deep soil layer, the available water increased with residue increasing and the difference between conventional tillage and no tillage without residue was little. The total soil available water of no-tillage with $10\ 500\ \text{kg}/\text{ha}$ residue was more $34.5\ \text{mm}$ than that of conventional tillage. Both the rapid and slow available water content increased with the residue increasing. The rapid soil available water was lower than slow available water among the treatments.

Key words: Jinxi; Highland; Mulch tillage; Soil water; Availability

降水量少是晋西旱塬区农业生产最突出的限制因子, 如何提高水分的有效性是农业生产的重要任务之一。覆盖耕作可以减少水分无效蒸发^[1~3], 增加土壤水分。覆盖耕作是包括少免耕、深松, 辅之以秸秆覆盖、地膜覆盖以及地膜和秸秆共同覆盖的双相覆盖的综合配套的技术体系^[4]。覆盖耕作对土壤水分运动影响很大。据研究, 在相同的基模势下^[5], 免

耕土壤比翻耕土壤有较高的含水量。那么覆盖耕作后, 其土壤水的有效性如何, 值得进一步探讨。

1 材料和方法

试验设在国家“八五”、“九五”农业科技攻关隰县试区(隰县后堰乡), 海拔 $1\ 101\ \text{m}$, 地下水位 $126\ \text{m}$ 。试区以旱塬地为主, 土壤由马兰黄土发育而成,

收稿日期: 2004-12-08

基金项目: 国家科技部“八五”、“九五”攻关项目(85-008-01-11, 96-004-05-06)

作者简介: 张宝林(1957-), 男, 山西原平人, 研究员, 主要从事旱地农业和区域农业研究; 陈阜为通讯作者。

粘粒含量在 16% 左右,属于碳酸盐褐土类中的轻质黄绵土。土层深厚,水分养分库容大,但保蓄力较低,供肥强度小。试验田前茬为高粱,耕层 0~20 cm,有机质含量 10.4 g/kg,全氮 0.57 g/kg,速效磷 8.64 mg/kg,速效钾 100 mg/kg,具有当地旱塬玉米

表 1 旱塬地区 1992~2001 年降水情况

Tab. 1 Precipitation in Jinxi highland from 1992 to 2001

	mm									
年 份 year	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
年降水	459.8	587.3	608.6	626.6	625.8	405.6	296.1	326.5	394.4	396.3
Annual precipitation										
生育期	354.1	495.5	378.8	510.8	471.6	288.2	255.3	280.4	333.0	344.8
Developmental period										
休闲期	105.7	91.8	229.8	115.8	154.2	117.4	40.8	46.1	61.4	51.5
Fallowing period										

1992 年春季畜力犁耕翻(15 cm),播前覆盖玉米秸秆,设每公顷覆盖玉米秸秆 10 500, 7 500, 4 500, 1 500 kg,留茬不覆盖,常规耕作(对照),深松覆盖秸秆 4 500 kg/hm²(人工铁锹全面松土 30 cm 后盖玉米秸秆),共计 7 个处理。采用随机区组设计,3 次重复,小区面积 4 m×5 m。玉米品种分别为中单 2 号(1992~1994 年)、晋单 29 号(1995~1997 年)、晋单 34 号(1998~1999 年)、晋单 36 号(2000~2001 年),密度 4.5 万株/hm²。定位试验 5 年后(除常规耕作外,其他处理都是连续免耕,即每年秋收后,按照上述秸秆量进行小区定位覆盖),因为连年免耕覆盖,地表秸秆堆积过厚,杂草严重,1997 年秋季进行耕翻后,继续定位试验到 2001 年。土壤水分于播种前和收获时采用中子法和常规取样烘干法测定;土壤水分特征曲线采用压力膜法进行测定。

2 结果与分析

2.1 旱塬农田土壤水分特征曲线分析

在旱塬试验地挖 0~200 cm 的土壤剖面,质地均一,取混合土样,按照耕作层、犁底层、心土层容重 1.20, 1.32, 1.28 g/cm³,测试 5×10³~15×10⁵ Pa 土壤水势下的土壤水分特征曲线(脱水曲线)。容重为 1.20 g/cm³,土壤质量含水量 θ (%)与土壤水势 S (Pa)的关系为: $\theta = 14.0529 \times 10^5 S^{-0.319481}$, $r = -0.9873$;容重为 1.28 g/cm³, $\theta = 14.0748 \times 10^5 S^{-0.324572}$, $r = -0.9872$;容重为 1.32 g/cm³, $\theta = 14.1274 \times 10^5 S^{-0.325401}$, $r = -0.9866$ 。可以看出,3 条曲线方程基本相似。因旱塬试验地土壤容重大多在 1.28 g/cm³ 左右,因此选用 $\theta = 14.0748 \times 10^5 S^{-0.324572}$, $r = -0.9866$ 进行分析为宜。

田肥力状况的典型代表性。该区年平均气温 8.8℃,≥10℃积温 3 057℃,无霜期 163 d,全年日照时数 2 740.9 h,年辐射量 5 233.5 MJ/cm²,属于一年一熟作物种植区。表 1 是试验 10 年期间全年和玉米生育期的降雨量。

土壤比水容量(C_0)是土壤水势(S)(基模势)变化所引起的含水量变化,它表明土壤水分的有效性和供水能力的强弱,其数量为土壤水分特征曲线的斜率, $C_0 = \frac{d\theta}{ds} = 4.5683 \times 10^5 S^{-1.324572}$ 。在 10⁴~10⁵ Pa 土水势间, C_0 下降速率快,该区段内土壤保持的水分数量多,移动性快,对作物的有效性最强,称之为速动易效水,其总水量(质量含水量)为 14.07%~29.73%。在 10⁵~3×10⁵ Pa 之间, C_0 下降速率较慢,该区段内土壤保持的水分数量较多,有效性较强,称之为缓动易效水,其总水量为 9.85%~14.07%。在 3×10⁵~15×10⁵ Pa 之间, C_0 下降速度最缓慢,该区段内土壤保持的水分数量少,移动性和有效性最差,称之为难效水,其总水量为 5.84%~9.85%。

2.2 覆盖耕作对耕层土壤水分有效性的影响

表 2、表 3 是不同耕作措施耕层土壤播种前和收获时的总有效水含量。由于 1992 年是第一年开始试验,播种前各处理总有效水含量没有差异,但收获时已经有一定的差异,以常规耕作的总有效水含量最低,这与土壤水分含量的变化趋势一致,随着秸秆量的增加,有效水含量增加。从不同年份看,除个别年份(1994, 1995 年)播种前总有效水含量免耕覆盖 10 500 kg/hm² 处理略低于免耕覆盖 4 500 kg/hm² 处理,其他年份均以免耕覆盖 10 500 kg/hm² 处理总有效水含量最高,免耕覆盖 7 500 kg/hm² 处理其次,以常规耕作为最低。播种前耕层总有效水呈现出随秸秆量增加而增加的趋势,10 年平均免耕覆盖 10 500 kg/hm² 处理比常规耕作高 42.4%,比免耕无覆盖高 28.8%。收获时,总有效水含量也呈随秸秆覆盖量的增加而增加的趋势,收

表 2 不同耕作措施耕层土壤(0~20 cm)播种前总有效水

Tab. 2 Total available soil water in plough layer before sowing mm

年份 Year	常规耕作 Conventional tillage	免耕 无覆盖 No-tillage	免耕覆盖 No tillage with residue (1500 kg/hm ²)	深松-免耕覆盖 Subsoiling-notillage with residue (4500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (4500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (7500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (10500 kg/hm ²)
1992	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
1993	8.5	14.5	11.2	12.5	14.1	16.1	17.5
1994	32.7	33.2	35.1	37.1	40.6	39.3	39.8
1995	10.0	8.3	13.3	15.6	22.9	23.1	21.9
1996	23.7	22.9	23.3	22.5	22.9	21.2	22.8
1997	15.3	14.8	16.6	16.8	17.8	18.5	21.6
1998	11.6	12.6	13.8	15.9	14.7	16.2	17.5
1999	8.2	11.3	13.3	13.1	12.2	14.1	14.3
2000	11.6	13.9	16.1	16.1	15.7	17.7	18.9
2001	9.3	10.6	11.3	13.6	13.0	14.4	16.0
平均	14.0	15.1	16.3	17.2	18.3	19.0	19.9

表 3 不同耕作措施耕层(0~20 cm)土壤收获时总有效水

Tab. 3 Total available soil water in plough layer after harvester mm

年份 Year	常规耕作 Conventional tillage	免耕 无覆盖 No-tillage	免耕覆盖 No tillage with residue (1500 kg/hm ²)	深松-免耕覆盖 Subsoiling-notillage with residue (4500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (4500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (7500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (10500 kg/hm ²)
1992	23.0	24.4	25.4	28.4	33.1	34.8	37.1
1993	27.6	28.9	31.2	31.6	34.7	33.6	32.7
1994	11.3	13.6	12.1	10.5	13.3	13.9	17.3
1995	26.4	27.0	28.3	29.6	29.4	28.2	29.2
1996	10.3	10.0	11.0	12.8	13.0	15.9	17.5
1997	18.4	19.4	21.2	22.9	23.6	23.9	24.4
1998	6.2	8.0	10.0	12.6	10.7	12.3	14.9
1999	13.5	16.7	22.2	23.2	24.0	25.7	25.3
2000	16.9	18.6	18.4	20.8	20.3	21.3	23.0
2001	20.1	20.7	21.1	21.0	22.5	25.3	26.1
平均	17.4	18.7	20.1	21.3	22.5	23.5	24.8

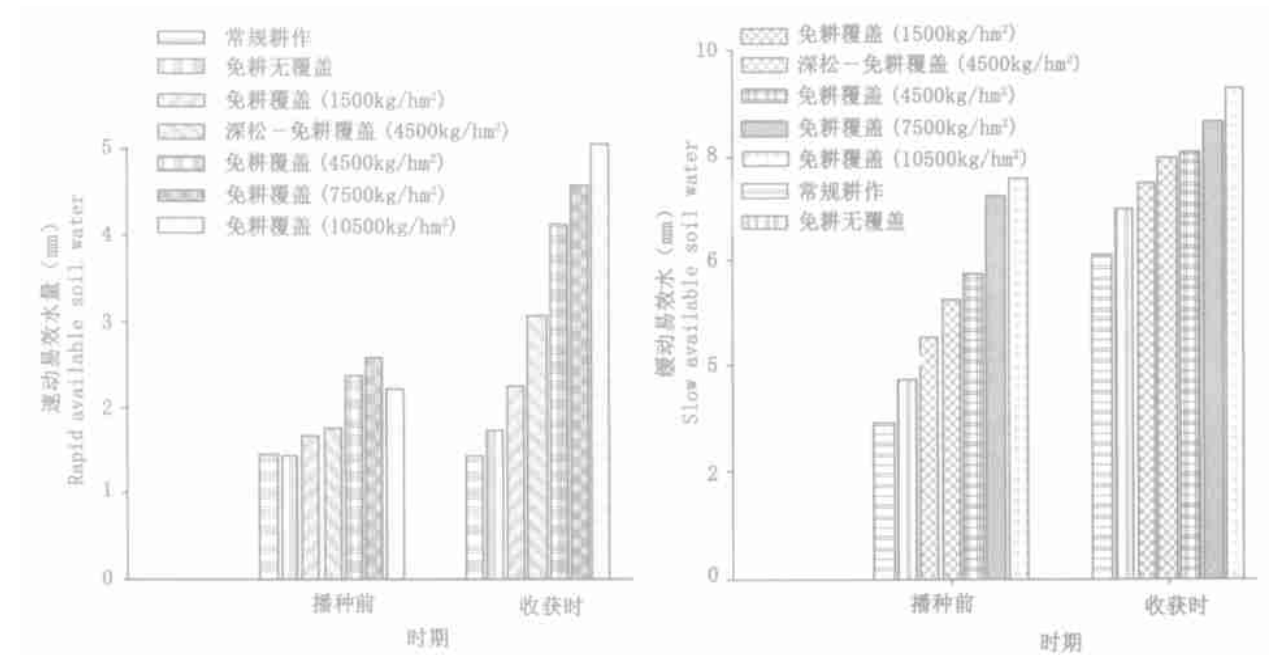


图 1 不同耕作措施耕层(0~20 cm)土壤播种前、收获时速动易效水、缓动易效水(1992~2001 年平均值)

Fig. 1 Rapid and slow available soil water in plough layer before sowing and after harvester (the average of 1992~2001)

获时测定不同处理耕层有效水含量,明显比播种时 有效水含量高。从不同年份看,正常降水年型土壤

有效水含量高,有利于作物的吸收,干旱降雨年型有效水含量略低,特别干旱降水年型有效水含量低(因1994年休闲期降雨较多,从全年降水量看属正常降水年型,从玉米生育期内降水比较属于干旱降水年型)。用覆盖量与总有效水含量进行线性拟合,得到:播种前 $y=15.572\ 44+0.006\ 70x$ (y 为有效水含量, x 为秸秆覆盖量, $r=0.973\ 00$);收获时 $y=18.955\ 12+0.008\ 52x$ ($r=0.994\ 49$)。

作物吸收利用更直接更快速的有效水是速动易效水和缓动易效水,耕作措施主要影响的有效水是速动易效水和缓动易效水。图1是1992~2001年不同耕作措施下耕层(0~20 cm)土壤播种前、收获时速动易效水平均值和缓动易效水平均值。速动易效水除播种时免耕覆盖7 500 kg/hm²处理10年平均为最高,免耕覆盖10 500 kg/hm²处理次之,常规耕作与免耕无覆盖无明显差异。但收获时其含量随秸秆覆盖量的增加而增加,免耕覆盖10 500 kg/hm²处理速动易效水含量最高,常规耕作最低。从缓动

易效水来看,无论是播种时还是收获时,都表现为随秸秆覆盖量的增加而增加。主要原因是由于覆盖耕作大量的秸秆还田,有机质增加,加之减少了土壤耕作或不耕作,土壤孔隙破坏性小,土壤孔隙连续性强,增加了降雨入渗量。而免耕主要增加了土壤的中孔隙和毛管孔隙,常规耕作土壤孔隙连续性差,大孔隙多,持水孔隙少,因而覆盖耕作耕层土壤有效水分高。对于土壤难效水部分,耕作措施对其影响不大,不同处理间差异不明显。

2.3 覆盖耕作对深层土壤水分有效性的影响

耕作措施对耕层土壤水分影响比较大。表4、5是不同耕作措施土壤1 m土体播前、收获时的总有效水量,可以看出,覆盖耕作对1m土体的土壤水分的有效性有较大的影响,随着秸秆覆盖量的增加总有效水量增加,收获时有效水量不同处理均比播种时有效水量高,这主要是旱塬地区休闲期降雨较少,土壤水分补给少,主要以消耗土壤水分为主,而玉米生长期,降雨较多,土壤水分得到补给。播种前,

表 4 不同耕作措施耕层土壤 1 m 土体播种前总有效水

Tab. 4 Total available soil water in plough layer before sowing

mm

年份 Year	常规耕作 Conventional tillage	免耕 无覆盖 No-tillage	免耕覆盖 No tillage with residue (1500 kg/hm ²)	深松—免耕覆盖 Subsoiling-notillage with residue (4500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (4500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (7500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (10500 kg/hm ²)
1992	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6
1993	88.3	110.0	76.4	100.8	104.5	110.1	114.2
1994	174.0	194.1	189.0	189.1	197.4	199.1	207.0
1995	91.4	96.5	111.0	116.6	124.3	111.0	124.0
1996	117.6	119.5	121.1	127.4	128.3	127.7	131.7
1997	83.6	90.4	98.6	106.5	107.0	112.4	120.4
1998	51.2	72.1	74.9	82.2	83.2	92.2	97.4
1999	33.5	48.5	61.3	71.8	68.8	82.5	84.4
2000	42.1	62.7	71.1	82.0	82.1	96.0	98.2
2001	56.9	69.2	77.0	88.8	88.0	102.9	105.9
平均	77.0	89.5	91.2	99.7	101.5	106.6	111.5

表 5 不同耕作措施耕层土壤 1 m 土体收获时总有效水

Tab. 5 Total available soil water in plough layer after harvester

mm

年份 Year	常规耕作 Conventional tillage	免耕无覆盖 No-tillage	免耕覆盖 No tillage with residue (1500 kg/hm ²)	深松—免耕覆盖 Subsoiling-notillage with residue (4500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (4500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (7500 kg/hm ²)	免耕覆盖 No tillage with residue (10500 kg/hm ²)
1992	120.2	138.0	127.9	132.2	140.8	146.5	152.6
1993	137.5	149.2	149.2	138.7	149.1	147.5	170.6
1994	22.3	80.1	57.8	79.3	82.2	76.6	97.0
1995	115.3	116.2	121.6	127.0	104.8	131.0	137.5
1996	74.4	78.9	93.8	92.6	91.2	99.1	93.4
1997	64.2	75.0	91.7	105.3	104.8	107.4	121.2
1998	29.4	47.3	56.8	70.3	64.9	74.1	78.4
1999	44.9	66.0	81.7	92.5	93.0	106.1	120.4
2000	62.5	77.6	85.6	98.1	98.1	113.7	118.3
2001	85.6	93.7	106.1	111.7	111.9	118.6	121.0
平均	75.6	92.2	97.2	104.8	104.1	112.1	121.0

土壤水分有效量免耕覆盖 10 500 kg/hm² 处理比常规耕作高 34.5 mm (近 50%), 平均有效含水量高 3.45%, 其他各处理均高于常规耕作; 收获时, 免耕覆盖 10 500 kg/hm² 处理的有效水量比常规耕作高 45.41 mm, 比免耕无覆盖高 28.64 mm。用覆盖量与总有效水含量进行线性拟合, 得到: 播种前 $y=89.10488+0.03311x$ (y 为有效水含量, x 为秸秆覆盖量, $r=0.99508$); 收获时 $y=92.60122+$

$0.04018x$ ($r=0.99903$)。

从不同降水年型看, 1 m 土层总有效水含量差异不大, 主要是深层土壤水分既受到降雨的影响, 同时也受到深层土壤水分、作物根系吸水等因素的影响。从速动易效水分和缓动易效水分来看(图 2), 虽然个别处理略有差异, 但总体上呈随秸秆覆盖量的增加, 速动易效水和缓动易效水量呈增加的趋势, 速动易效水含量小于缓动易效水。

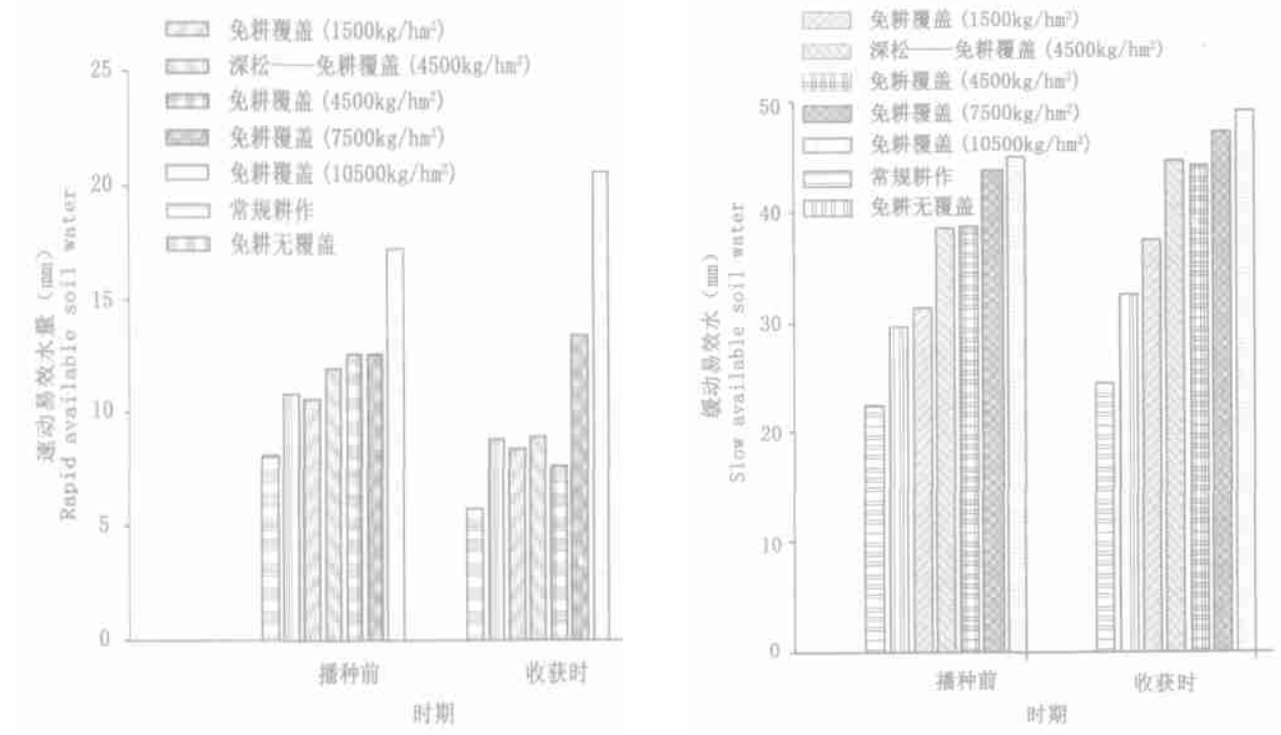


图 2 不同耕作措施 1m 土体土壤播种前、收获时速动易效水(1992~2001 年平均值)

Fig. 2 Rapid and slow available soil water in plough layer before sowing and after harvester (the average of 1992~2001)

3 结论

耕层土壤总有效水含量免耕覆盖 10 500 kg/hm²处理> 免耕覆盖 7 500 kg/hm² 处理> 常规耕作, 10 年平均免耕覆盖 10 500 kg/hm² 处理比常规耕作高 42.4%, 比免耕无覆盖高 28.8%。速动易效水在播种时免耕覆盖 7 500 kg/hm² 处理> 免耕覆盖 10 500 kg/hm² 处理> 常规耕作与免耕无覆盖; 但收获时, 免耕覆盖 10 500 kg/hm² 处理速动易效水含量最高, 常规耕作最低。从缓动易效水来看, 无论是播种还是收获时, 都表现为随秸秆覆盖量的增加, 缓动易效水含量高。

深层土壤有效水量的变化趋势也呈随秸秆覆盖量的增加有效水量增加, 常规耕作和免耕无覆盖差异不大, 免耕覆盖 10 500 kg/hm² 处理比常规耕作

高 34.5 mm; 速动易效水与缓动易效水整体上均随秸秆覆盖量增加而增加, 速动易效水较缓动易效水含量低。

参考文献:

[1] 张宝林, 晋凡生, 闫玄梅, 等. 旱塬麦田休闲期深松覆盖耕作增产机理研究[J]. 华北农学报, 1995, (增刊): 30-34.

[2] 张宝林. 旱塬地玉米免耕覆盖耕作试验研究[J]. 山西农业大学学报, 1994, (1): 43-51.

[3] 晋凡生, 张宝林. 旱塬地玉米农田免耕覆盖的土壤环境效应[J]. 水土保持研究, 2000, (4): 60-64.

[4] 王淑芬, 高银奎, 张名昌, 等. 旱塬地玉米双相覆盖增产机理及其技术研究[J]. 华北农学报, 1995, (增刊): 12-17.

[5] 华 孟, 王 坚. 土壤物理学[M], 北京: 北京农业大学出版社, 1993. 61-73.