

秸秆覆盖对旱地土壤水分及冬小麦 水分利用效率的影响

刘 婷,贾志宽,张 睿,郑甲成,任世春,杨宝平,聂俊峰,刘艳红,王海霞

(西北农林科技大学 干旱半干旱地区农业研究中心,农业部旱地作物生产与生态重点开放实验室,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】研究秸秆覆盖方式与覆盖量对冬小麦田土壤水分及冬小麦产量和水分利用效率的影响。【方法】在陕西渭北旱塬,通过连续 2 年(2007—2009)的不同秸秆覆盖方式(全程覆盖、生育期覆盖、不覆盖(CK)与不同覆盖量(9 000, 6 000, 3 000 kg/hm²)的大田试验,研究秸秆覆盖对土壤水分及冬小麦产量和水分利用效率的影响。【结果】2 年的定位试验结果表明,同一覆盖方式不同覆盖量处理的土壤含水量与覆盖量呈正相关;同一覆盖量不同覆盖方式下土壤含水量表现为全程覆盖优于生育期覆盖和 CK;全程覆盖方式 9 000, 6 000 和 3 000 kg/hm² 覆盖量处理 0~200 cm 土层平均含水量较生育期覆盖分别提高了 11.5%, 10.0% 和 8.0%, 较 CK 分别提高了 19.2%, 12.9% 和 8.8%;全程覆盖方式和生育期覆盖方式下,小麦的水分利用效率均以覆盖量为 3 000 kg/hm² 处理最大,其中全程覆盖方式的水分利用效率较 CK 增加了 31.5% ($P<0.05$),生育期覆盖方式下 2 年平均的水分利用效率较 CK 增加了 12.8% ($P<0.05$);不同覆盖量在全程覆盖方式下冬小麦产量较 CK 增加 41.1%~65.7% ($P<0.05$),在生育期覆盖方式下冬小麦产量较 CK 增加了 27.1%~30.2% ($P<0.05$)。【结论】同一秸秆覆盖方式不同覆盖量均可增加冬小麦产量,而同一覆盖量下以全程覆盖方式的增产效果较优;覆盖量为 3 000 kg/hm² 时,2 种覆盖方式的冬小麦水分利用效率均最大。

【关键词】 土壤水分;冬小麦;秸秆覆盖;水分利用效率;渭北旱塬

【中图分类号】 S152.7;S512.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)07-0068-09

Effect of straw mulching on soil moisture and water use efficiency of winter wheat in dryland

LIU Ting, JIA Zhi-kuan, ZHANG Rui, ZHENG Jia-cheng, REN Shi-chun,
YANG Bao-ping, NIE Jun-feng, LIU Yan-hong, WANG Hai-xia

(The Research Center of Agriculture in the Arid and Semiarid Areas, Northwest A&F University, The Key Open Laboratory of
Crop Production and Ecology in Arid Areas, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The study was to explore the ways and the cover amount of straw mulch on winter wheat field with soil moisture, winter wheat yield and water use efficiency. 【Method】 A two-year field experiment including the straw mulching in various ways covering the growth period and fallow, growth period, no-tillage and different amounts made up of 9 000, 6 000, 3 000 kg/hm² was set in Weibei Loess Plateau of Shaanxi Province to make clear the effect of straw mulch on yield, soil moisture and water utilization efficiency of wheat winter from Sep. 2007 to Jun. 2009. 【Result】 The result indicated that soil water content and amount covered by the different amounts of coverage in the same mulching mode was positively correlated. The soil moisture content of full period which covered the different ways in the same

* [收稿日期] 2010-01-08

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD29B03; 2007BAD88B10)

[作者简介] 刘 婷(1984—),女,甘肃武威人,在读硕士,主要从事旱区农业资源管理研究。E-mail: zjcx_534@126.com

[通信作者] 贾志宽(1962—),男,山西朔州人,教授,主要从事旱地农业研究。E-mail: zhikuan@tom.com

amount of coverage was superior to that in growth stages and control. While the straw mulching quantity was 9 000 kg/hm², 6 000 kg/hm² and 3 000 kg/hm², in the 0—200 cm layer, soil moisture content of full coverage increased by 11.5%, 10.0% and 8.0% respectively compared with the growth stages coverage, increased by 19.2%, 12.9% and 8.8% compared with the control. Whether the full or growth stage coverage, the water use efficiency (WUE) was always the largest in the amount of 3 000 kg/hm². Compared with the control, the WUE of full coverage was remarkably increased by 31.5% ($P < 0.05$), and the growth stage was significantly enhanced by 12.8% ($P < 0.05$) in average of two years. With the straw mulching amount of 9 000 kg/hm², 6 000 kg/hm² and 3 000 kg/hm², the winter wheat yield of the full stage coverage in different mulching modes was remarkably increased by 41.1%—65.7% ($P < 0.05$) than the control, that of the growth stage was also increased by 27.1%—30.2% ($P < 0.05$). 【Conclusion】 Two-year preliminary study showed that the crop yield could increase the straw mulch of different ways in the same volume. In the same amount of coverage, the production of entire period and fallow methods was better than that of other growth period and ways. In the 3 000 kg/hm² coverage, the WUE of two patterns were all the greatest.

Key words: soil moisture; winter wheat; straw mulching; water use efficiency (WUE); Weibei Loess Plateau

旱地土壤水分的主要来源是降水,如何实现有限降水资源的高效利用,是旱地农业研究与作物生产亟需解决的问题。目前,覆盖栽培作为旱地农业的一项重要技术措施,在研究和生产中广受重视。

覆盖栽培因覆盖材料的不同可分为地膜覆盖、秸秆覆盖、生物膜覆盖、沙石覆盖等,因覆盖方式的不同可分为全程覆盖、生育期覆盖、休闲期覆盖。大量研究表明,秸秆覆盖是一种重要的蓄水保墒技术^[1-2],可增加土壤有机质含量^[3],增强土壤的蓄水能力^[4],改善土壤结构,使土壤表层疏松,增加雨水入渗,提高土壤含水量;同时,地表覆盖物可削弱土壤与大气间的气体交换并降低地温,从而有效地控制土壤水分蒸发,提高土壤的水分利用效率^[5]。针对秸秆覆盖保墒的效果,国内外许多专家进行了大量的研究,结果表明,覆盖能抑制土壤水分的无效蒸发,使 0~50 cm 土层土壤含水量较未覆盖增加 13~17 mm^[6],影响深度可达 100 cm^[1];另有研究认为,在免耕秸秆覆盖和传统耕作秸秆覆盖条件下,作物收获后的土壤贮水量并不高,但水分利用效率较高^[7]。在半湿润区,不同秸秆覆盖量的研究表明,6 000 kg/hm² 秸秆覆盖的冬小麦较未覆盖冬小麦平均增产 19.3%^[8];在半干旱区的研究表明,6 000 kg/hm² 秸秆覆盖的增产效应达 29.6%^[9];在湿润区的研究表明,以覆盖量 3 000 kg/hm² 表现最好^[10]。为了有效利用降水,减少无效蒸发,有学者对小麦生育期和夏季休闲期^[6]、全生育期秸秆覆盖进行了研究,结果表明,全生育期覆盖土壤贮水量高于夏季休

闲期覆盖^[11]。从现有研究和生产示范的资料看,秸秆覆盖方式多为作物生育期覆盖或全程覆盖,而对于不同覆盖方式在不同覆盖量条件下保墒效果的研究报道较少。为此,本试验在渭北旱塬对不同覆盖方式与不同覆盖量处理下的土壤水分动态变化、水分利用效率及作物的增产效应进行了研究,旨在探讨雨养农业区不同覆盖方式的节水增产效果,为秸秆覆盖模式的完善及应用提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2007-09—2009-06 在陕西省合阳县甘井镇西北农林科技大学旱作试验站进行。该区海拔 910 m,位于北纬 34°10′~36°20′,东经 106°20′~110°40′;当地光热资源较为充足,年平均温度 10.5℃,多年平均降雨量 580 mm,降雨主要集中在 7—9 月份;气候干燥,年蒸发量 1 832.8 mm,为半湿润易旱区;土壤为红壤土。小麦生育期内 2 年降雨量见表 1,2007 和 2008 年休闲期(7—9 月)的降雨量分别为 335.2 和 243.1 mm。

1.2 试验设计

试验依据秸秆覆盖方式和覆盖量的不同,共设 7 个处理(表 2),于人工播种后以小麦秸秆整秆覆盖;各处理 3 次重复,随机区组排列,小区面积 4 m×6 m=24 m²。供试小麦品种为“晋麦 47”,播种量为 141 kg/hm²,播种前基施纯氮 150 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm²、K₂O 90 kg/hm²,每年 9 月下旬

播种,翌年 6 月中旬收获。

表 1 2007—2009 年试验区冬小麦生育期内降雨量											
Table 1 Rainfall in whole wheat growth periods in experimental area from 2007 to 2009											mm
年度 Year	月份 Month										总量 Sum
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	
2007—2008	28.7	48.3	1.6	9.5	29.1	8.3	13.0	31.7	23.5	11.9	205.6
2008—2009	55.7	15.0	0	0	0	25.2	18.6	14.9	145.7	16.3	291.4

表 2 秸秆覆盖方式及覆盖量			
Table 2 Mulching patterns and straw covering			
覆盖方式 Mulching pattern	处理 Treatment	覆盖量/(kg·hm ⁻²) Straw mulching	
		播种期 Growth stage	休闲期 Fallow stage
全程覆盖 Growth period and fallow	SM I	9 000	9 000
	SM II	6 000	6 000
	SM III	3 000	3 000
生育期覆盖 Growth period	SM IV	9 000	0
	SM V	6 000	0
	SM VI	3 000	0
不覆盖 No-tillage	CK	0	0

1.3 测定项目及计算方法

1.3.1 土壤含水量 在播前,越冬期及冬小麦主要生育期(拔节期、孕穗期、灌浆期和收获期)采集 0~200 cm 土层土样,每 20 cm 取样一次,用烘干称质量法测定土壤含水量(质量分数,%,下同)。

1.3.2 土壤贮水量 计算公式为:

$$v=\rho\times h\times w\times 10。$$

式中: v 为土壤贮水量(mm), ρ 为地段实测土壤体积质量(g/cm³), h 为土层厚度(cm), w 为土壤含水量(%)。

1.3.3 作物耗水量 计算公式为:

$$ET_a=P+U-R-F-\Delta W。$$

式中: ET_a 为作物耗水量, P 为降水量, U 为地下水补给量, R 为径流量, F 为深层渗漏量, ΔW 为试验末期土壤贮水量与初期土壤贮水量之差。式中各分量单位均为 mm。根据试验区实际情况,地下水上移补给量、深层渗漏、地面径流均忽略不计,因此上式可简化为:

$$ET_a=P-\Delta W。$$

1.3.4 作物水分利用效率 计算公式为:

$$WUE=Y/ET_a。$$

式中: WUE 为作物水分利用效率(kg/(mm·hm²)), Y 为单位面积的作物产量(kg/hm²), ET_a 含意同上。

1.3.5 产量测定 小麦成熟时人工收获,测定籽粒质量。

1.4 数据处理

试验数据采用 Surfer 8.0、SAS 8.0 和 Excel

2003 进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 全程覆盖方式下不同覆盖量处理的土壤水分状况

2.1.1 0~80 cm 土层 在 2007 年定点覆盖的基础上,全程覆盖(2008—2009)不同秸秆量处理土壤水分的时空分布如图 1 所示。由图 1 可以看出,SM I、SM II 和 SM III 处理播种前 0~80 cm 土层土壤含水量较 CK 分别增加了 25.2%,23.5% ($P<0.01$) 和 21.0% ($P<0.05$);越冬期(播后 60~90 d)分别较 CK 增加了 19.8%,16.3% 和 14.2%,差异显著($P<0.05$);拔节期(播后 180~210 d)分别较 CK 增加了 28.9%,25.6% ($P<0.01$) 和 16.8% ($P<0.05$);孕穗期(播后 210~240 d)水分散失以植株蒸腾为主,地面蒸发减少,覆盖处理抑制蒸腾的作用减弱,SM I、SM II 和 SM III 处理土壤含水量与 CK 差异不显著,但仍分别较 CK 高 15.4%,12.8% 和 11.8%;灌浆期(播后 240~270 d) SM I、SM II 和 SM III 处理土壤含水量较 CK 高 17.5%~25.5% ($P<0.05$)。随着小麦生育进程的推进,全程覆盖处理 SM I、SM II 和 SM III 在小麦各生育期 0~80 cm 土层的土壤含水量均高于 CK,且随覆盖量的增加而增大。

2.1.2 0~200 cm 土层 全程覆盖 SM I、SM II 和 SM III 处理 0~200 cm 土层播种前平均土壤含水量分别较 CK 显著增加了 25.9%,20.2% 和 11.7% ($P<0.05$);拔节期分别较 CK 增加了 31.8%,

27.5%和 12.7% ($P<0.05$);孕穗期分别较 CK 增加了 16.2%,6.1%和 5.3%;灌浆期较 CK 增加了 8.9%~23.1% ($P<0.05$)。SM I、SM II、SM III 处

理在冬小麦全生育期 0~200 cm 土层平均含水量分别较 CK 增加了 18.4%,12.7%和 8.2%,土壤含水量与秸秆覆盖量呈正相关。

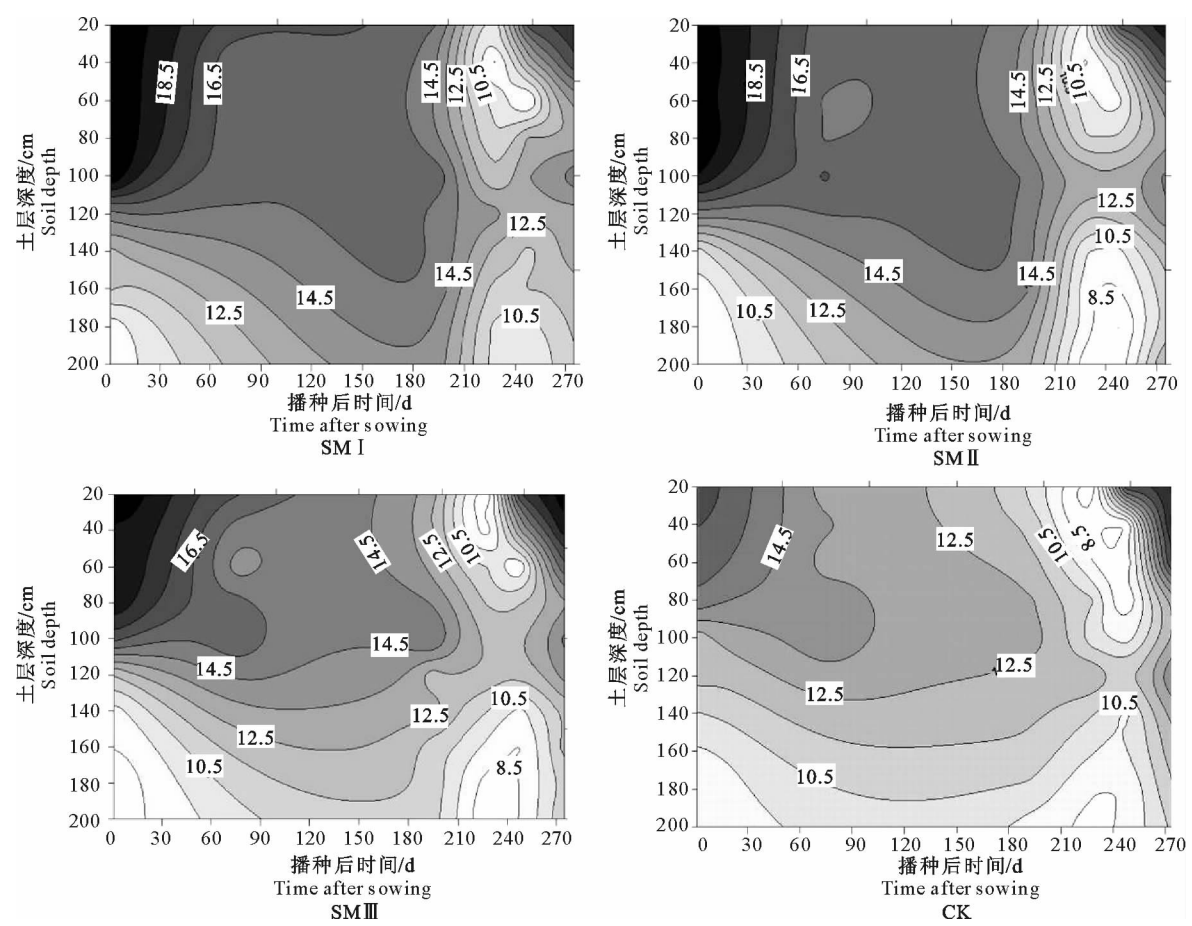


图 1 全程覆盖各处理土壤水分的时空分布等值线

Fig. 1 Soil moisture distribution with time and space under each treatment in whole wheat growth period and fallow period

2.1.3 土壤水分的垂直变化 总体来看(图 1), SM I、SM II 和 SM III 处理与 CK 相比,0~80 cm 土层含水量变化最为剧烈,80~120 cm 土层次之,120 cm 以下土层水分变化趋缓。从播种到收获,SM I、SM II、SM III 处理 0~200 cm 土层的平均含水量分别为 10.86%,10.05%和 9.39%,分别较 CK (9.17%)提高了 18.4%,9.6%和 2.4%。可见全程覆盖后上层土壤含水量高于下层,对土层的影响深度可达 200 cm,且与覆盖量呈正比。

2.2 生育期覆盖方式下不同秸秆覆盖量的土壤水分状况

2.2.1 0~80 cm 土层 2007—2008 年,SM IV、SM V 和 SM VI 处理在冬小麦主要生育时期 0~80 cm 土层的平均含水量均较 CK 有所提高,但差异不显著(图 2-A);孕穗期(04-14) SM IV、SM V、SM VI 处理 0~80 cm 土层的平均土壤含水量分别较 CK

增加 6.9%,4.6%和 3.5%,灌浆期(05-14)较 CK 的增幅为 2.5%~16.5%。2008 年冬小麦收获后覆盖秸秆原地翻埋,当年秋季,SM IV、SM V 处理播前 0~80 cm 土层平均含水量与 CK 相比分别增加 6.9%和 1.4%,SM VI 与 CK 表现一致(图 2-B);越冬期(11-27)到拔节期(03-25),0~80 cm 的土层的平均含水量随覆盖量的增加而增大,越冬期 SM IV、SM V 和 SM VI 处理 0~80 cm 土层平均含水量分别较 CK 高 16.3%,12.1%和 8.4% ($P<0.05$);拔节期分别较 CK 高 23.6%,14.1%和 5.3% ($P<0.05$);SM IV、SM V 和 SM VI 处理在孕穗期(04-28) 0~80 cm 土层平均含水量与 CK 差异不显著,SM IV 处理较 CK 增加 0.6%,而 SM V 和 SM VI 处理分别较 CK 减少了 11.5%和 10.1%;灌浆期(05-18)SM IV、SM V、SM VI 处理 0~80 cm 土层平均土壤含水量为 10.20%~11.24%,较 CK 增加了

0.5%~10.7%;收获期(06-14)以上 3 个处理 0~80 cm 土层平均含水量为13.63%~14.09%,较 CK 减

少了 1.7%~4.9%。

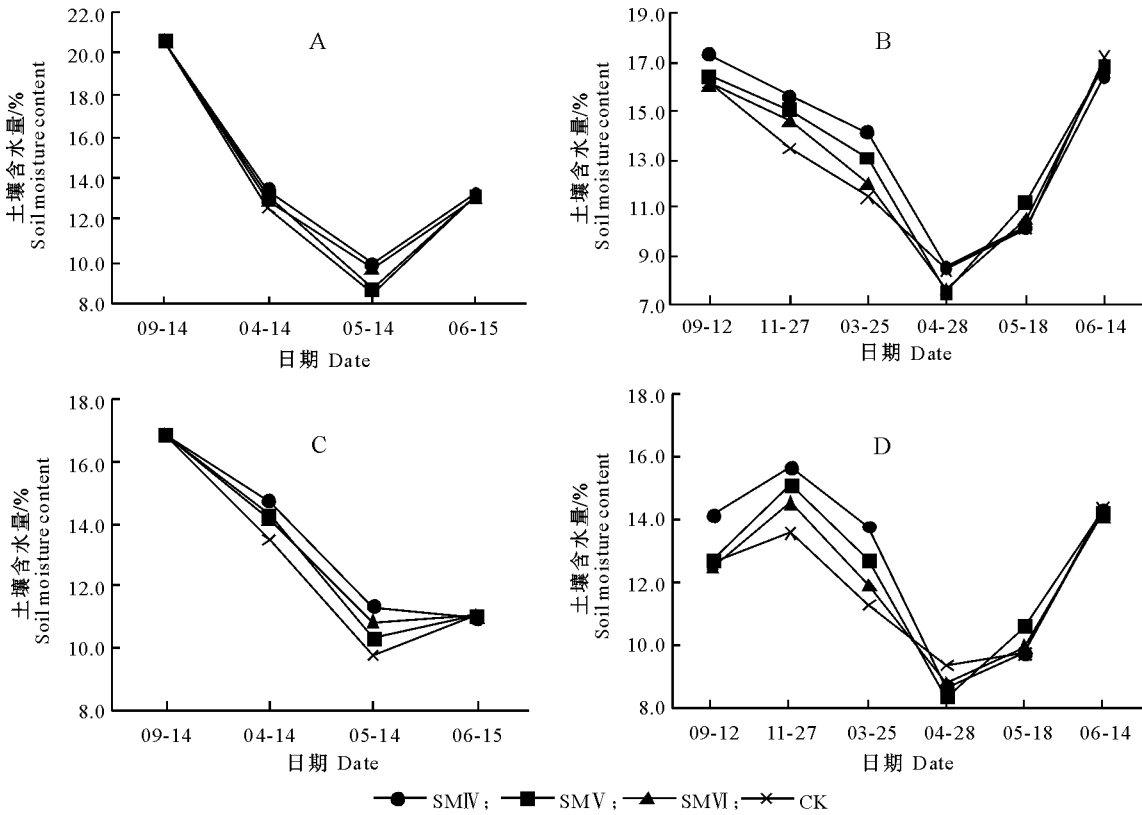


图 2 生育期覆盖各处理不同土层平均土壤含水量的动态变化

A. 各处理 2007—2008 年 0~80 cm 平均含水量;B. 各处理 2008—2009 年 0~80 cm 平均含水量;C. 各处理 2007—2008 年 0~200cm 平均含水量;D. 各处理 2008—2009 年 0~200 cm 平均含水量

Fig. 2 Effect of different treatments on seasonal soil moisture variation in winter wheat growth period

A. The average water content from 0 to 80 cm in 2007—2008 growth period under different treatment;B. The average water content from 0 to 80 cm in 2008—2009 growth period under different treatment;C. The average water content from 0 to 200 cm in 2007—2008 growth period under different treatment;D. The average water content from 0 to 200 cm in 2008—2009 growth period under different treatment

2.2.2 0~200 cm 土层 2007—2008 年,小麦生育期内不同处理从播种(09-14)到收获(06-15),0~200 cm 土层平均土壤含水量减少,其中从孕穗期(04-14)到灌浆期(05-14)土壤平均含水量降低速度较快;SMIV、SMV 和 SMVI 处理 0~200 cm 土层平均土壤含水量在小麦不同生育期差异不显著,但均高于 CK,其中在孕穗期较 CK 高 9.1%,6.0%和 5.3%,灌浆期较 CK 高 5.7%~16.1%,收获期(06-15)的土壤平均含水量与 CK 差异不明显(图 2-C)。2008—2009 年(图 2-D),SMIV 处理在播种时(09-12)0~200 cm 土层平均含水量较 CK 高 12.4%,SMV 和 SMVI 处理则与 CK 持平;越冬期(11-27)SMIV、SMV 和 SMVI 处理 0~200 cm 土层的平均土壤含水量分别较 CK 高 17.1%,8.3%,4.5%($P <$

0.05),拔节期(03-25)分别较 CK 高 22.4%,12.3%和 5.6%($P < 0.05$);全生育期内 SMIV、SMV 和 SMVI 处理的土壤含水量较 CK 分别增加了 8.5%,3.6%和 1.8%。连续 2 年的试验结果表明,生育期秸秆覆盖各处理土壤平均含水量随季节变化明显,且均高于 CK,变化趋势一致。

2.2.3 土壤水分的垂直变化 生育期覆盖各处理冬小麦从播种到收获的平均土壤含水量垂直变化见图 3。由图 3 可看出,2007—2008 年,SMIV、SMV 和 SMVI 处理 0~80 cm 土层平均土壤含水量较 CK 增加了 1.4%~4.2%,80~120 cm 土层平均土壤含水量增加了 1.7%~5.7%,120~200 cm 土层增加了 3.1%~6.4%;2008—2009 年,SMIV、SMV 和 SMVI 处理 0~80 cm 土层平均土壤含水量较 CK 分

别增加 10.0%,6.5%,4.2%,80~120 cm 土层增加了 1.8%~9.5%,120~200 cm 土层增加了 1.0%~6.0%。连续 2 年的试验结果表明,生育期覆盖各处

理不同土层土壤含水量均高于 CK,且随着覆盖量的增加,各土层含水量增加,生育期覆盖方式下土壤水分垂直变化的规律与全程覆盖方式相同。

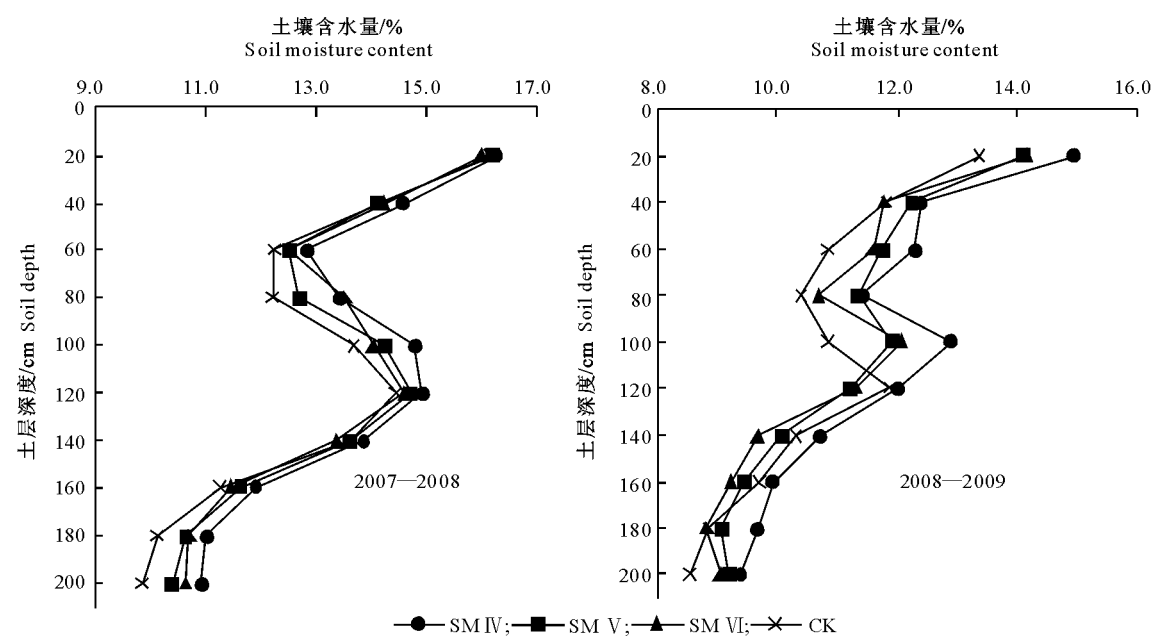


图 3 生育期覆盖各处理冬小麦全生育期平均土壤含水量的垂直变化

Fig. 3 Vertical variations of different treatments in winter wheat growth stage under growth period

2.3 全程覆盖与生育期覆盖方式间土壤水分状况的比较

在覆盖量相同覆盖方式不同条件下,0~200 cm 土层平均土壤含水量随冬小麦生育期的变化情况见图 4。图 4-A~4-C 分别显示了覆盖量为 9 000, 6 000 和 3 000 kg/hm² 时的土壤水分变化情况,图 4-D 为不同覆盖量及 3 种覆盖方式下的土壤水分变化情况。自 2008-09-12 播种到 2009-06-14 收获,3 个覆盖量下不同覆盖方式 0~200 cm 土层的平均土壤含水量变化趋势表现一致,不同覆盖方式含水量大小顺序依次为:全程覆盖>生育期覆盖>CK(图 4-D)。覆盖量为 9 000 kg/hm² 时(图 4-A),3 种覆盖方式土壤含水量在播前(09-12)、越冬期(11-27)和拔节期(03-25)的差异较大,其中全程覆盖方式下不同时期(除收获期外)土壤水分含量均最高;收获时(06-14)不同覆盖方式的土壤水分含量差异最小;全程覆盖方式下 0~200 cm 土层平均土壤含水量在播前、越冬期和拔节期分别较生育期覆盖高 12.1%, 4.1%和 7.7%。秸秆覆盖量为 6 000 kg/hm² 时(图 4-B),全程覆盖方式播前、越冬期、拔节期 0~200 cm 土层平均土壤含水量较生育期覆盖分别增加了 19.5%,8.5%和 13.5%($P<0.05$)。秸秆覆盖量为 3 000 kg/hm² 时(图 4-C),全程覆盖较生育期覆盖

在相同时期 0~200 cm 土层平均土壤含水量增加了 3.7%~13.0%。在覆盖量为 9 000,6 000 和 3 000 kg/hm² 时,从播种到收获,全程覆盖方式 0~200 cm 土层平均土壤含水量较生育期覆盖方式分别增加了 11.5%,10.0%和 8.0%,较不覆盖(CK)增加了 19.2%,12.9%和 8.8%;生育期覆盖方式较不覆盖(CK)增加了 7.1%,3.4%和 1.2%。

2.4 秸秆覆盖对冬小麦产量及水分利用效率的影响

2.4.1 产 量 连续 2 年秸秆覆盖定位试验的冬小麦产量见表 3。由表 3 可知,2007-2008 年,生育期覆盖方式中以 SM VI 处理产量最高,达 6 391.1 kg/hm²,较 CK 显著增产 5.9%;SM IV 与 SM V 处理间差异不显著,分别较 CK 显著减产 5.9%和 6.9%。2008-2009 年,生育期覆盖方式各处理间产量差异不显著,但均显著高于 CK ($P<0.05$),SM IV、SM V、SM VI 处理分别较 CK 显著增产 30.1%, 30.2%和 27.1%。全程覆盖方式中以 SM I 处理产量最高,较 CK 显著增产 65.7%($P<0.05$),SM II 与 SM III 处理间差异不显著,但均显著高于 CK ($P<0.05$),分别较 CK 增产 57.4%和 41.1%。从生育期覆盖处理的 2 年平均产量来看,SM IV、SM V、SM VI 处理分别较 CK 增产 5.5%,5.1%和 12.7%,

其中 SMⅥ处理与 CK 差异显著,SMⅣ、SMⅤ与 SMⅥ 3 个处理间差异不显著($P>0.05$)。

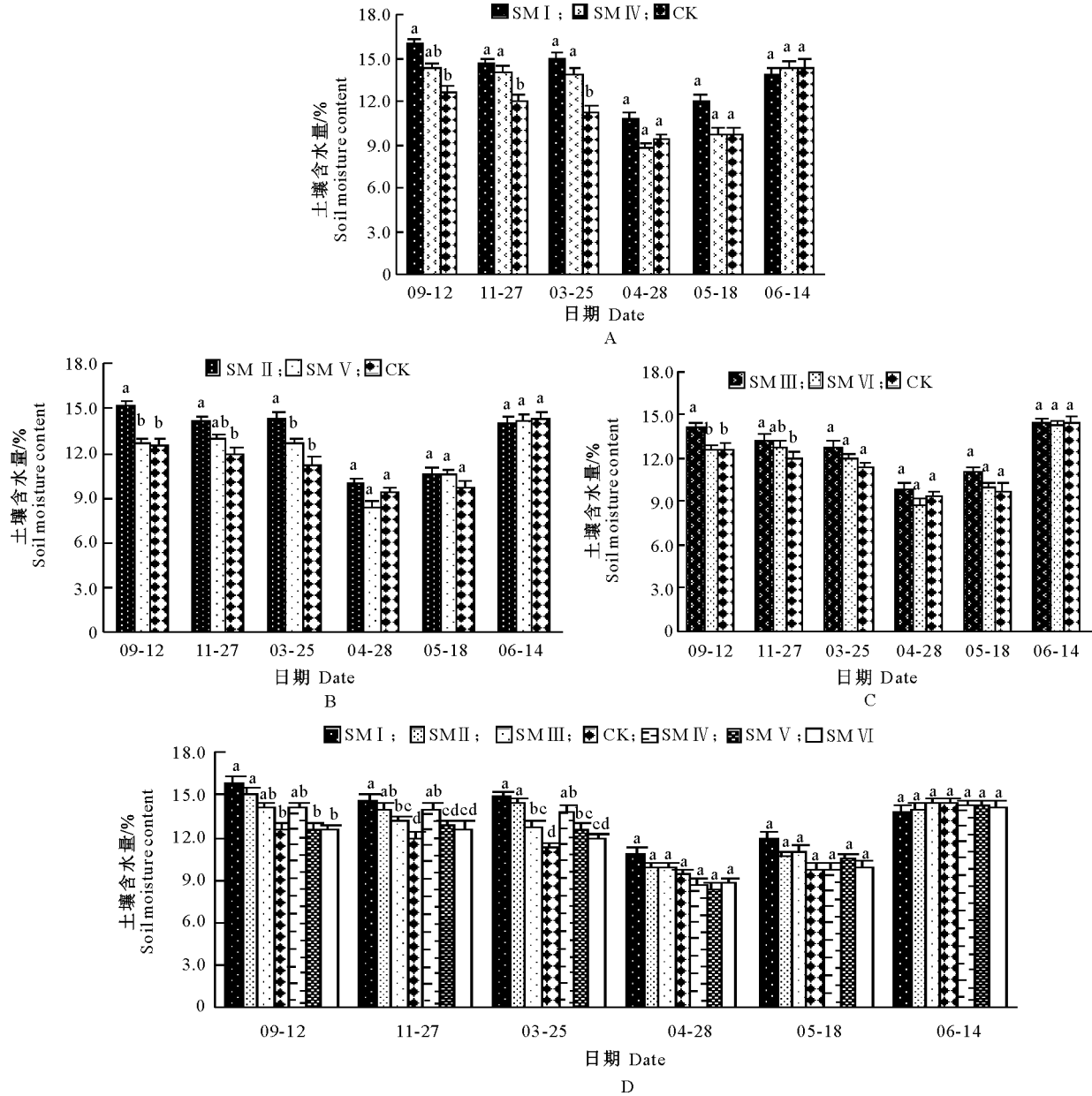


图 4 在冬小麦生育期不同覆盖方式下 0~200 cm 土层平均土壤含水量的变化

A. 覆盖量为 9 000 kg/hm²;B. 覆盖量为 6 000 kg/hm²;C. 覆盖量为 3 000 kg/hm²;

D. 不同覆盖量 3 种覆盖方式 0~200 cm 土层的平均土壤含水量

Fig. 4 Variations of average soil moisture under different straw mulching patterns from 0 to 200 cm in growth of winter wheat

A. Mulching with 9 000 kg/hm²;B. Mulching with 6 000 kg/hm²;C. Mulching with 3 000 kg/hm²;

D. The average water content of soil layers from 0 to 200 cm under three different ways by mulching with different amount

2.4.2 水分利用效率 水分利用效率为单位耗水量所生产的作物籽粒的产量。由表 3 可以看出,2008—2009 年全程覆盖方式各处理 WUE 均高于 CK,SMⅠ、SMⅡ和 SMⅢ处理的 WUE 分别较 CK 显著增加 29.6%,22.3%和 31.5% ($P<0.05$)。2007—2008 年,生育期覆盖方式各处理间 WUE 差

异不显著($P>0.05$),SMⅥ处理 WUE 较 CK 增加了 2.5%。2008—2009 年,生育期覆盖方式下 SMⅣ、SMⅤ和 SMⅥ处理的 WUE 与 CK 差异显著 ($P<0.05$),生育期覆盖方式各处理的增加幅度为 30.5%~32.6%。从 2 年生育期平均 WUE 可以看出,SMⅥ处理 WUE 最高,较 CK 增加了 12.8%,

SMⅣ、SMⅤ处理较CK分别增加了3.9%和6.3%。*WUE*均最高。
不论哪种覆盖方式,覆盖量为3 000 kg/hm²时,

表 3 秸秆覆盖处理下冬小麦的产量及水分利用效率
Table 3 Yield and WUE of different straw mulchings

处理 Treatment	2007—2008			2008—2009			平均 Average		
	产量/ (kg·hm ⁻²) Yield	耗水量/mm Water consumption	水分利用 效率/ (kg·hm ⁻² · mm ⁻¹) <i>WUE</i>	产量/ (kg·hm ⁻²) Yield	耗水量/mm Water consumption	水分利用 效率/ (kg·hm ⁻² · mm ⁻¹) <i>WUE</i>	产量/ (kg·hm ⁻²) Yield	耗水量/mm Water consumption	水分利用 效率/ (kg·hm ⁻² · mm ⁻¹) <i>WUE</i>
SMⅠ	—	—	—	4 667.7 a	444.8 a	10.49 a	—	—	—
SMⅡ	—	—	—	4 434.4 ab	447.6 a	9.91 a	—	—	—
SMⅢ	—	—	—	3 975.5 bc	373.1 b	10.65 a	—	—	—
SMⅣ	5 674.9 c	397.7 a	14.27 a	3 665.8 c	344.9 bc	10.63 a	4 670.4 ab	371.3 a	12.58 ab
SMⅤ	5 632.5 c	376.4 a	14.96 a	3 668.6 c	347.0 bc	10.57 a	4 650.6 ab	361.7 a	12.86 ab
SMⅥ	6 391.1 a	397.0 a	16.10 a	3 582.1 c	333.6 c	10.74 a	4 986.6 a	365.3 a	13.65 a
CK	6 033.0 b	384.6 a	15.69 a	2 817.4 d	346.8 bc	8.12 b	4 425.2 b	365.7 a	12.10 b

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。
Note:Column data marked with different lowercase letters are significantly different ($P<0.05$).

3 讨 论

秸秆覆盖有较好的保水效果。李玲玲等^[12]的研究结果表明,免耕秸秆覆盖0~5 cm土层土壤含水量是常规耕作的1.9倍;在3 000 kg/hm²覆盖量下,在雨后,覆盖较裸地土壤含水量平均增长(24.7±1.7)%,干旱时增长(51.3±17.0)%^[7]。本研究结果表明,不论采取哪种覆盖方式,渭北旱塬经不同量秸秆覆盖后,土壤含水量季节性差异明显,垂直水分差异随土层深度的增加而减弱。全程覆盖方式下,覆盖量与土壤含水量呈正相关,SMⅠ、SMⅡ和SMⅢ处理0~200 cm土层的平均土壤含水量在播前较CK增加11.7%~25.9%,拔节期增加了12.7%~31.8%,孕穗期增加了5.3%~16.2%,灌浆期增加了8.9%~23.1%,全生育期分别增加了18.4%,12.7%和8.2%。垂直差异表现为不同覆盖量处理的上层土壤水分含量均高于下层,且覆盖对土壤水分含量的影响深度可达200 cm,这与赵聚宝等^[6]的研究结果一致。本研究中,全程覆盖和生育期覆盖方式下,土壤含水量均随覆盖量的增加而增大;在覆盖量分别为9 000,6 000和3 000 kg/hm²时,从播种到收获,全程覆盖方式0~200 cm土层平均土壤含水量较生育期覆盖分别提高了11.5%,10.0%和8.0%,较不覆盖(CK)提高了19.2%,12.9%和8.8%。
另有研究表明,不论试验年份和土壤种类,覆盖处理的水分利用效率均比无覆盖处理大,增加的幅度为4.6%~25.2%^[13];在覆盖第2年,小麦产量较常规种植显著增加,秸秆覆盖对水分的消耗高于其

他处理^[1]。本研究结果表明,秸秆覆盖处理可以提高水分利用效率。就覆盖方式而言,在覆盖量相同情况下,全程覆盖方式与生育期覆盖的水分利用效率差异较小。就覆盖量而言,全程覆盖方式以覆盖量为3 000 kg/hm²的水分利用效率最大,这可能与覆盖对地温、微生物活动、农田小气候环境的影响有关;生育期覆盖方式2年试验结果存在差异,但从2年平均水分利用效率来看,仍以覆盖量为3 000 kg/hm²处理的水分利用效率最大。
张树兰等^[1]在渭北旱塬粉砂壤土上进行2年的冬小麦秸秆覆盖试验,结果表明,在较干旱的年份,覆盖处理第2年的产量较对照明显增加。另有研究表明,休闲期降雨量与小麦产量呈正相关,小麦一半以上的产量取决于播种前底墒的好坏^[14]。上述研究结果与本研究结论基本一致。本研究在试验第1年(2007—2008年)由于没有进行休闲期覆盖,处理间仅生育期覆盖量存在差异,结果表明,第1年冬小麦生育期覆盖处理中SMⅥ表现增产,而SMⅣ、SMⅤ处理较CK减产,覆盖处理总体效果不明显。Wicks等^[15]认为,秸秆覆盖的作物产量下降与温度和气候因素有关。本研究中,在秸秆覆盖处理的第2年(2008—2009年),生育期覆盖方式各处理较CK表现出明显的增产效果。全程覆盖方式下,不同覆盖量处理较CK增产65.7%~41.1%;生育期覆盖方式下,不同覆盖量处理较CK增产27.1%~30.2%,可见,全程覆盖方式增产幅度明显大于生育期覆盖。2008年冬旱严重,3个月无降雨,秸秆覆盖处理表现出更为明显的保墒效果。

4 结 论

2 年的研究结果初步表明,不论采取哪种覆盖方式或覆盖量,秸秆覆盖均可增加作物产量。全程覆盖方式的保墒作用随覆盖量的增大而增强,且冬小麦产量增幅较大,建议推广使用。

[参考文献]

[1] 张树兰,Lars L,同延安.渭北旱塬不同田间管理措施下冬小麦产量及水分利用效率 [J]. 农业工程学报,2005(4):28-32.
Zhang S L,Lars L,Tong Y A. Effects of different field management practices on winter wheat yield and water utilization efficiency in Weibei Loess Plateau [J]. Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering,2005(4):28-32. (in Chinese)

[2] 于舜章,陈雨海,周勋波,等. 冬小麦期覆盖秸秆对夏玉米土壤水分动态变化及产量的影响 [J]. 水土保持学报,2004,18(6):175-178.
Yu S Z,Chen Y H,Zhou X B,et al. Effect of straw-mulch during wheat stage on soil water dynamic changes and yield of summer maize [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2004,18(6):175-178. (in Chinese)

[3] Humberto,Blanco-Canqui. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till [J]. Soil and Tillage Research,2007,95:240-254.

[4] Jacob A,Thomas R S. A straw mulch system to allow continuous wheat production in an arid climate [J]. Field Crop Research,1996,47:21-31.

[5] Huang Y L,Chen L D,Fu B J,et al. The wheat yields and water-use efficiency in the Loess Plateau:straw mulch and irrigation effects [J]. Agricultural Water Management,2005,72:209-222.

[6] 赵聚宝,梅旭荣,薛军红,等. 秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响 [J]. 中国农业科学,1996,29(2):59-66.
Zhao J B,Mei X R,Xue J H,et al. The effect of straw mulch on crop water use efficiency in dryland [J]. Scientia Agricultura Sinica,1996,29(2):59-66. (in Chinese)

[7] 晋小军,黄高宝. 陇中半干旱地区不同耕作措施对土壤水分及利用效率的影响 [J]. 水土保持学报,2005,19(5):109-112.
Jin X J,Huang G B. Effects of different tillage methods on soil water and water use efficiency in cemi-arid area of Gansu [J].

Journal of Soil and Water Conservation,2005,19(5):109-112. (in Chinese)

[8] 逢焕成. 秸秆覆盖对土壤环境及冬小麦产量状况的影响 [J]. 土壤通报,1999,30(4):174-175.
Pang H C. The effect of straw mulch on soil environment and condition of winter wheat yield [J]. Chinese Journal of Soil Scienc,1999,30(4):174-175. (in Chinese)

[9] 张有富. 秸秆覆盖对旱作麦田水分及产量的影响 [J]. 甘肃农业科技,2007(6):14-15.
Zhang Y F. Effects on the soil-moisture and seed yield of straw mulch [J]. Gansu Agr Sci and Techn,2007(6):14-15. (in Chinese)

[10] 袁家富. 麦田秸秆覆盖效应及增产作用 [J]. 生态农业研究,1996,4(3):61-65.
Yuan J F. Effects of straw mulch in wheat field and its effects on yield increase [J]. Eco-Agriculture Research,1996,4(3):61-65. (in Chinese)

[11] 侯连涛,焦念元,韩 宾,等. 不同覆盖方式对土壤水分分布的影响 [J]. 灌溉排水学报,2007,26(1):47-50.
Hou L T,Jiao N Y,Han B,et al. Effects of different covering methods on soil water distribution [J]. Journal of Irrigation and Drainage,2007,26(1):47-50. (in Chinese)

[12] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等. 免耕秸秆覆盖对旱作农田土壤水分的影响 [J]. 水土保持学报,2005,19(6):94-96.
Li L L,Huang G B,Zhang R Z,et al. Effects of no-till with stubble retention on soil water regimes in rainfed area [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2005,19(6):94-96. (in Chinese)

[13] 许翠平,刘洪禄,车建明,等. 秸秆覆盖对冬小麦耗水特征及水分生产率的影响 [J]. 灌溉排水,2002,21(3):24-27.
Xu C P,Liu H L,Che J M,et al. Effects of straw mulch on water consumption and water use efficiency in winter wheat [J]. Irrigation and Drainage,2002,21(3):24-27. (in Chinese)

[14] 党廷辉,高长青. 渭北旱塬影响小麦产量的关键降水因子分析 [J]. 水土保持研究,2003,10(1):9-11,36.
Dang T H,Gao C Q. Study on key water factors of affecting wheat yield in Weibei dry highland [J]. Research of Soil and Water Conservation,2003,10(1):9-11,36. (in Chinese)

[15] Wicks G A,Crutchfield D A,Burnside O C. Influence of wheat straw mulch and metolachlor on growth and yield [J]. Weed Sci,1994,42:141-147.