

渭北旱塬秸秆还田对土壤水分及作物水分利用效率的影响

马晓丽^{1,2}, 贾志宽¹, 肖恩时³, 王雯玥¹, 刘 婷¹, 刘艳红¹, 崔荣美¹

(1. 西北农林科技大学干旱半干旱农业研究中心, 农业部作物生产与生态重点开放实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 汉中市农业技术推广中心, 陕西 汉中 723000; 3. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 探讨秸秆还田对渭北旱塬区土壤水分状况、冬小麦产量及水分利用效率的影响。在陕西合阳进行连续两年的秸秆还田定位试验, 研究秸秆还田对不同层次土壤水分变化、产量及作物水分利用效率的影响。从小麦播种到抽穗期秸秆还田量 9 000 kg/hm² 和 6 000 kg/hm² 处理的 0~80 cm 土层贮水量分别较对照高 15.96 mm 和 10.74 mm, 还田量 9 000 kg/hm² 处理的贮水量与对照间差异达到显著水平 ($P < 0.05$), 且 80~200 cm 土层贮水量较对照高 15.11 mm, 差异达极显著水平 ($P < 0.01$), 但还田量 6 000 kg/hm² 处理的 80~200 cm 土层贮水量与对照差异不显著。还田量 9 000 kg/hm² 处理的产量、耗水量和水分利用效率均与对照间差异显著 ($P < 0.05$), 分别较对照增加 15.70%、5.66% 和 8.9%; 还田量 6 000 kg/hm² 处理的产量较对照增加 6.22%, 较还田量 9 000 kg/hm² 处理减少 8.93%, 差异均达到显著水平 ($P < 0.05$), 其耗水量和水分利用效率与对照差异不显著。秸秆还田对土壤蓄水保墒具有重要作用; 还可显著地提高冬小麦产量、水分利用效率和耗水量, 且表现出随秸秆还田量的增加而增加。

关键词: 秸秆还田; 土壤贮水量; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S345 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)05-0059-06

水资源短缺严重制约着我国旱区农业生产力的提高, 有限水分资源的高效利用是该地区农业生产面临的主要问题。土壤水分状况是决定作物根系生长的关键因素, 对作物生长发育和产量具有决定性影响^[1]。培肥地力、纳雨蓄墒、减少土壤水分无效蒸发, 提高土壤的蓄水、保水和供水能力, 从而提高作物的水分利用效率是旱作农业研究的重要任务^[2]。秸秆还田是解决我国旱作农业区“旱”与“薄”的有效途径之一, 对于实现旱地农业生产力的持续增长具有重要意义^[3]。秸秆还田具有培肥改土作用, 为土壤微生物提供良好的环境条件, 有利于土壤结构的改良和土壤有机质的增加, 提高了土壤的蓄水保墒能力, 更好地发挥了土壤水库的调蓄作用^[4]; 秸秆还田, 特别是秸秆与化肥配施, 可调控土壤水分, 以水调肥, 以水控温, 有利于提高土壤水分利用效率。张忠学等在对华北平原冬小麦不同培肥措施的节水增产效应研究中得出^[5], 秸秆还田和增施有机肥可以减少田间耗水量, 调整冬小麦、夏玉米的耗水结构, 提高水分利用效率, 对土壤剖面水分的影响范围可达 2 m。劳秀荣研究认为^[6], 通过长期秸秆还田与化肥配施, 培肥地力, 从而优化根系生态环境, 为作物稳产高产创造了良好的土壤条件。余延

丰等研究表明^[7], 江汉平原地区秸秆还田能明显提高水稻和小麦的产量, 尤其与化肥配合施用可以显著提高作物产量, 而且随着还田量的增加, 产量也随之增高。曾木祥等对 1999 年全国 19 个省市 107 份秸秆还田的试验材料的归纳和总结得出^[8], 秸秆还田都能取得较好的增产效果, 都有改良土壤、培肥地力的作用。秸秆还田大大改善了作物生长的农田生态环境, 为我国农业的高产、稳产打下了良好基础。有关降水与作物需水严重错位、土壤贫瘠的渭北旱塬区, 秸秆还田量 9 000 kg/hm² 和 6 000 kg/hm² 对土壤水分、作物产量及水分利用效率影响的研究报道较少, 相应的技术模式也未形成。本项试验探讨了秸秆还田对不同层次土壤水分变化、作物产量及土壤水分利用效率的影响, 为完善半干旱区秸秆还田栽培模式以及节水保墒综合技术的创新提供理论依据及技术基础。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验于 2007 年 9 月~2009 年 7 月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。该区域地处黄土高原南部旱塬区, 试验地点海拔 910 m。

收稿日期: 2010-01-10

基金项目: 国家十一五支撑计划“农田集雨保水关键技术研究”(2006BAD29B03); 陕西省农业科技创新项目(2010NK-03)

作者简介: 马晓丽(1984—), 女, 山西省大同人, 硕士研究生, 研究方向为旱区农业资源研究。E-mail: maxiaoli@163.com。

通讯作者: 贾志宽, 男, 山西朔州人, 教授, 研究方向为旱区农业研究。E-mail: zhikuan@tom.com。

该区年均气温 9 ~ 10℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的有效积温 3 725.9℃, 年均降雨量 534.6 mm, 为半湿润易旱区, 试验期间冬小麦生育期降雨量如表 1, 2007、2008 年

休闲期(7 月 ~ 8 月)降雨量分别为 279.3 mm 和 177.9 mm。试验地土壤类型为壤土。

表 1 2007 ~ 2009 年冬小麦生育期降雨量(mm)

Table 1 Rainfall in the whole wheat growth period during 2007 ~ 2009

年份 Year	9 月 Sept.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 Mar.	6 月 Jun.	总计 Total
2007 ~ 2008	28.7	48.3	1.6	9.5	29.1	8.3	13	31.7	23.5	11.9	205.6
2008 ~ 2009	55.7	15	0	0	0	25.2	18.6	14.9	145.7	16.3	291.4

1.2 试验设计

试验共设 3 个处理, 即小麦秸秆还田量 0 kg/hm² (CK)、6 000 kg/hm² (M1)、9 000 kg/hm² (M2), 小区面积 13.2 m² (4.4 m × 3 m), 随机区组排列, 3 次重复。供试小麦品种为晋麦 47, 每年 9 月下旬播种, 各处理基施化肥纯 N 150 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm²、K₂O 90 kg/hm², 翌年 6 月中旬收获。冬小麦收获后将秸秆粉碎翻耕施入。

1.3 测定项目与方法

土壤水分: 采用烘干法在小麦播种前、出苗期、越冬期、返青期、拔节期、抽穗、灌浆期和收获后测定 0 ~ 200 cm 土壤水分动态空间变化, 以 20 cm 为一个土层单位, 为了保证数据的可靠性, 设 3 个重复, 每层土壤水分值取 3 次的平均值。

作物产量: 收获时, 每小区取 5 m², 人工脱粒, 然后换算成单位面积产量(kg/hm²)。

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 为地段实测土壤容重(g/cm³); h 为土层深度(cm); w 为土壤水分重量百分数(%)。

土壤耗水量的计算: $ETa = W1 - W2 + P$

式中, ETa 为土壤耗水量(mm); $W1$ 播前土贮水量(mm); $W2$ 收获后的贮水量(mm); P 生育期有效降水量(mm), 式中土壤贮水量及耗水量均以 2 m 土层含水量计算。

水分利用效率(WUE): $WUE = Y/ETa$ 。

式中, WUE 为作物水分利用效率(kg/mm·hm²); Y 为作物单位面积产量(kg/hm²)。

数据处理采用 SAS 软件进行。

2 结果与分析

2.1 冬小麦不同生育时期 0 ~ 80 cm 土层土壤贮水状况分析

对 2007 ~ 2008 和 2008 ~ 2009 年不同处理下 0 ~

80 cm 土壤贮水量时间和空间的动态变化进行分析表明(图 1), 随着冬小麦生育进程的推进, 各处理土壤贮水量总体上呈下降趋势。从冬小麦播种到抽穗期, M2 和 M1 处理 0 ~ 80 cm 土层贮水量均高于对照, 且 M2 处理高于 M1 处理; 随生育进程的推进, 冬小麦进入生殖生长阶段, 耗水急剧增加, 农田蒸散转变为以作物蒸腾为主, 植株蒸腾占耗水量的 90% 以上^[9]。秸秆还田处理冬小麦生物量高, 产生相对大的叶面蒸腾, 耗水量随之增加, 使得 M2 和 M1 处理 0 ~ 80 cm 土层贮水量逐渐低于对照, 且 M2 处理逐渐低于 M1 处理。

2007 ~ 2008 年, 冬小麦进入拔节期(4 月 10 日), M2 和 M1 处理 0 ~ 80 cm 土层贮水量分别为 165.83 mm 和 158.21 mm, 较对照分别高 21.04 mm ($P < 0.05$) 和 13.41 mm。拔节到灌浆期降雨量达 46.5 mm, 土壤水分得到降雨入渗的补充, 使灌浆期各处理间贮水量差异不显著。收获后, 各处理 0 ~ 80 cm 土层贮水量高低顺序为: CK > M1 > M2, M2 和 M1 分别较对照低 8.25 mm 和 3.54 mm, 差异均未达到显著水平。

经过 7 ~ 9 月夏季休闲期降雨入渗的补充, 到 2008 ~ 2009 年播种前(9 月 14 日), M2 和 M1 处理 0 ~ 80 cm 土层土壤贮水量分别较对照高 23.29 mm 和 15.39 mm, 对确保苗齐、苗壮具有重要意义。从播种到抽穗期(4 月 24 日), 各处理 0 ~ 80 cm 土层贮水量由高到低顺序为: M2 > M1 > CK, M2 和 M1 处理此期间 0 ~ 80 cm 土层贮水量均值分别为 171.88 mm 和 166.66 mm, 分别较对照高 15.96 mm ($P < 0.05$) 和 10.74 mm, 显著地改善了冬小麦生长的土壤水分状况。灌浆期(5 月 7 日) M2 和 M1 处理 0 ~ 80 cm 土层贮水量分别为 83.97 mm 和 87.21 mm, 较对照低 9.39 mm 和 3.24 mm, M2 与对照间差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。收获后(6 月 11 日) M2 和 M1 处理分别为 172.20 mm 和 178.28 mm, 分别较对照低 14.33 mm 和 6.08 mm, M2 与对照间差异达到显著水平。

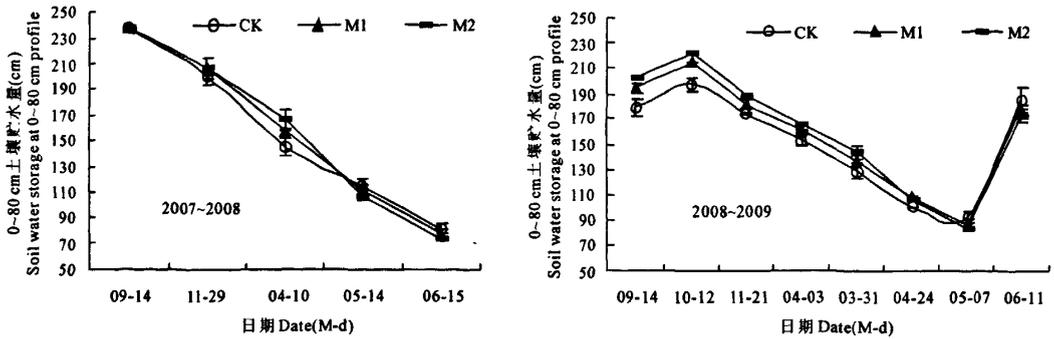


图 1 不同生育时期 0~80 cm 土层土壤贮水量动态变化

Fig. 1 Dynamics of soil water storage at 0~80 cm profile at different growth stages

2.2 冬小麦不同生育时期 80~200 cm 土层土壤贮水状况分析

秸秆还田使作物生长状况得到改善,促进作物根系生长发育,扩大了作物的吸水空间,加强了对土

壤深层水的利用。两年试验结果表明(图 2),各处理 80~200 cm 土层土壤贮水量,总体上依然呈下降趋势,但下降趋势变缓,处理间差异较大。

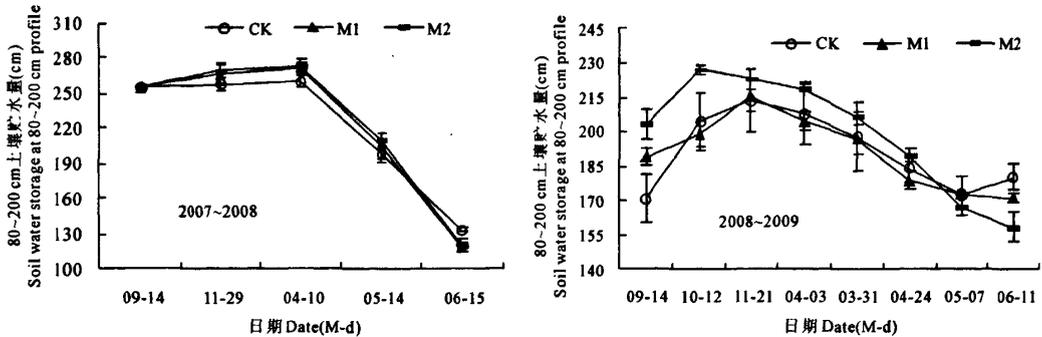


图 2 不同生育时期 80~200 cm 土层土壤贮水量动态变化

Fig. 2 Dynamics of soil water storage at 80~200 cm profile at different growth stages

2007~2008 年从播种到灌浆期各处理 80~200 cm 土层贮水量由高到低顺序为 M2 > M1 > CK,收获后各处理贮水量由高到低顺序为 CK > M2 > M1,整个生育期各处理间差异均未达到显著水平。

2008~2009 年播前 M2 和 M1 处理 80~200 cm 土层贮水量分别为 203.55 mm 和 189.22 mm,较对照高 32.59 mm 和 18.62 mm,差异均达极显著水平 ($P < 0.01$)。从播前到抽穗期(4 月 24 日)M1 处理和对照呈交替上升状态,M2、M1 和对照此期间 80~200 cm 土层贮水量平均值分别为 211.71 mm、197.51 mm 和 196.59 mm,M2 处理较对照高 15.11 mm,差异达极显著水平 ($P < 0.01$),而 M1 与对照差异不显著。随生育期推进,各处理 80~200 cm 土层贮水量均逐渐减小,M2 与 M1 及对照差异逐渐减小,且 M2 逐渐低于 M1 及对照。灌浆期(5 月 7 日)各处理贮水量由高到低顺序为 M1 > CK > M2。收获后(6 月

11 日)M2、M1 和对照贮水量分别为 158.68 mm、171.39 mm 和 180.48 mm,M2 和 M1 分别比对照低 21.80 mm 和 9.09 mm,差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)。这与秸秆还田处理后小麦长势良好后期有效利用深层土壤水分有关。2008~2009 年灌浆期与收获期间降雨量达 162 mm,使收获后各处理 0~80 cm 土层土壤贮水量较灌浆期增加了 88.36 mm;而灌浆期 80~200 cm 土层各处理贮水量平均值为 170.78 mm,收获后为 170.18 mm,仅相差 0.6 mm。说明 0~100 cm 土层土壤水分容易获得降水补充而得到恢复,而深层土壤水分在降水量较少的情况下,土壤水分亏缺得不到足够的补充,土壤贮水的恢复程度低。

2.3 秸秆还田对 0~200 cm 土层土壤贮水量垂直分布的影响

不同秸秆还田量 0~200 cm 土层土壤贮水量

(各层整个生育期平均值)随土层深度的变化见图 3。由图可见,2007~2008 年全生育期 0~200 cm 土层土壤贮水量在 60 cm 处达到低谷,140 cm 处到达

峰值,各处理间差异不明显,这可能因为秸秆还田需要一定时间改进土壤性质来达到还田的效应,第一年秸秆腐解不完全,效果不显著。

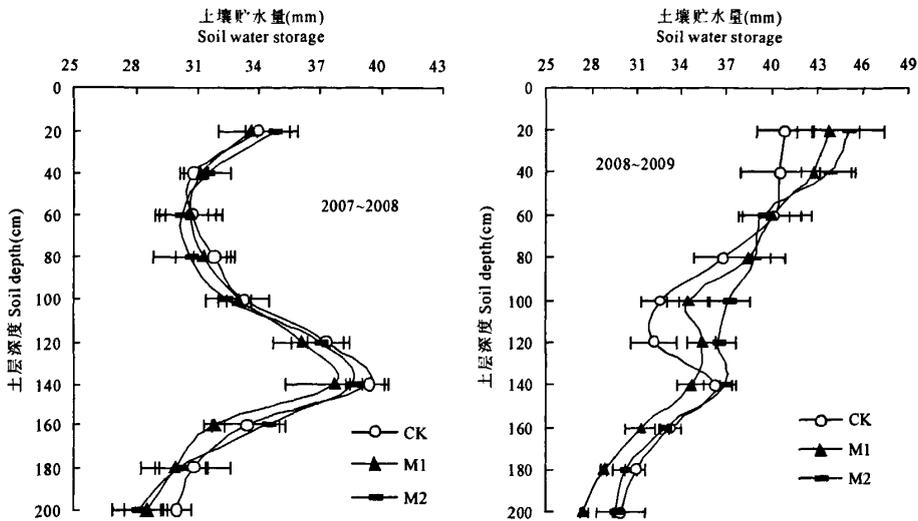


图 3 全生育期 0~200 cm 土壤贮水量剖面分布

Fig. 3 0~200 cm soil water storage profile distribution in the whole growth period

2008~2009 年各处理 0~200 cm 土壤贮水量随着土层的下移,总体呈下降趋势,但下降幅度较小。0~40,80~120 cm 土层各处理间差异较为明显,由高到低顺序为 M2>M1>CK,M2 处理 0~40 和 80~120 cm 土层贮水量分别较对照高 7.17 mm 和 9.28 mm,M1 处理较对照高 4.86 mm 和 6.62 mm;40~60 cm 处各处理间差异不明显;140~200 cm 土层 M2 与对照差异不明显,二者分别较 M1 高 7.64 mm 和 7.48 mm。

2.4 秸秆还田对冬小麦产量及水分利用率的影响

结果表明(表 2),2007~2008 年 M2、M1 和对照水分利用率分别为 11.17、10.51 和 9.81 kg/(hm²·mm),M2 和 M1 分别较对照增加 13.77% 和 7.05%,差异均达到显著水平($P < 0.05$);M2 处理产量较对照和 M1 处理分别增加 11.02% 和 7.01%,且与二者差异达显著水平($P < 0.05$),M1 与对照差异不显著;各处理耗水量差异不显著。2008~2009 年 M2 处理产量和耗水量分别较对照增加 24.43% 和 21.62%,差异均达显著水平($P < 0.05$);M1 处理产量较对照增加 10.84% ($P < 0.05$),但其耗水量与对照差异不显著;各处理间水分利用率差异不显著。两年平均结果显示,M2 处理产量、耗水量和水分利用率分别较对照增加 15.70%、5.66% 和 8.9%,差异均达到显著水平($P < 0.05$);M1 处理产量较对照增加 6.22%,但较 M2 处理减少 8.93%,差异均达

到显著水平($P < 0.05$),其耗水量和水分利用率与对照差异不显著。每一年度冬小麦产量、耗水量及水分的利用效率是随秸秆还田量的变化而变化的,即随秸秆还田量的增加而增加。

本试验两年的产量和耗水量差异较大,主要与试验两个年份冬小麦生育期的降雨年份不同有关。虽然 2007~2008 年生育期的降水量明显少于 2008~2009,虽然 2007~2008 年生育期降雨量只有 205.6 mm,但是从播前到拔节期(2008-04-10),降雨量为 144.7 mm,为冬小麦转入生殖生长储备了大量的水分,利于籽粒灌浆。2008~2009 年生育期降雨量为 291.4 mm,但从 2008-11-01~2009-01-01,降雨量为零;从抽穗(09.4.24)到灌浆前期(09.5.7),降雨量为也零,而此时段正值麦苗营养生长和生殖生长旺盛时期,缺水影响了作物穗的分化及根、茎、叶的生长,穗数和穗粒数严重减少,而灌浆后期降雨较多,不利于提高粒重。于振文研究结果表明^[9],一般应在籽粒形成和灌浆前期保持较充足的水分供给,但在灌浆后期维持土壤有效水分下限,可加速茎叶贮藏物质向籽粒运转,促进正常落黄,有利于提高粒重,而 2008~2009 年生育前期冬小麦严重缺水,整个生育期降雨集中在 5 月中下旬,降雨量达 145.7 mm,为灌浆后期降雨。以上原因均导致 2008~2009 年产量严重降低。

值得指出的是,虽然 2008~2009 年生育期土壤

水分严重亏缺,但是秸秆还田能减少土壤水的无效蒸发,使土壤有效水储量增加,这对小麦的穗分化和

花器官的形成有利,为增加小麦穗粒数和提高产量打下了基础。

表2 冬小麦耗水量、产量和水分利用率

Table 2 Water consumption, yield and water use efficiency of winter wheat

年份 Year	处理 Treatment	贮水量(mm) Soil water storage		降雨量 Rainfall (mm)	耗水量 Water Consumption (mm)	产量 Yield (kg/hm ²)	水分利用率 Water use efficiency [kg/(hm ² ·mm)]
		播前 Pre-sowing	收获后 Post-harvest				
2007~2008	CK	496.7	186.6	205.6	515.69 a	5061.76 b	9.81 c
	M1	496.7	202.3	205.6	499.87 a	5251.14 b	10.51 b
	M2	496.7	198.8	205.6	503.30 a	5619.36 a	11.17 a
2008~2009	CK	356.4	350.8	291.4	296.96 c	2716.37 c	9.18 a
	M1	364.8	327.0	291.4	329.16 b	3010.75 b	9.15 a
	M2	378.6	314.7	291.4	355.33 a	3380.02 a	9.52 a
两年平均值 The average of two years	CK	426.5	268.7	248.5	406.33 b	3889.07 c	9.50 b
	M1	430.8	264.6	248.5	414.51 ab	4130.95 b	9.83 ab
	M2	437.7	256.7	248.5	429.32 a	4499.69 a	10.34 a

注:同列数据后不同小写字母表示 Duncan 检验在 0.05 水平上的差异显著。

Note: Small letters following numbers show significant difference at 0.05 level (Duncan).

3 讨论

3.1 关于秸秆还田与作物贮水量

已有的秸秆还田试验表明^[10-12],秸秆还田明显地增加了土壤有机质,降低了土壤容重,增加了土壤的孔隙度,防止土壤水分的蒸发,改善了土壤的物理性状。由于土壤的物理性状得到改善,土壤的水、肥、气、热得以很好的协调,渗水能力增强,保墒性能增加,抗旱能力也都得到了极大地改善^[13]。通过本试验两年初步的研究结果表明,秸秆还田增强了土壤的蓄水保墒能力,还田量 9 000 kg/hm² 处理从播前到抽穗期 0~80 和 80~200 cm 土层的土壤贮水量分别较对照高 15.96 mm ($P < 0.05$) 和 15.11 mm ($P < 0.01$);还田量 6 000 kg/hm² 0~80cm 土层的土壤贮水量较对照高 10.74 mm。

2007~2008 年收获后各处理 0~80 cm 土层的贮水量高低顺序为:CK > 6 000 kg/hm² > 9 000 kg/hm²,还田量 9 000 kg/hm² 和 6 000 kg/hm² 处理 0~80 cm 土层的土壤贮水量分别较对照低 8.25 mm 和 3.54 mm。经过 7~9 月的夏季休闲期的降雨入渗,2008~2009 年冬小麦生育前期(播前~越冬),各处理 0~80 cm 土层的贮水量由高到低顺序为:9 000 kg/hm² > 6 000 kg/hm² > CK,播前 9 000 kg/hm² 和 6 000 kg/hm² 处理 0~80 cm 土层的土壤贮水量分别较对照高 23.29 mm 和 15.39 mm,这显示了秸秆还田在降雨保蓄方面的显著作用。

3.2 关于秸秆还田与作物产量

大量研究证明^[14,15],秸秆还田技术在大多数作

物上均表现出增产效益,这种效应随着秸秆还田年数的延续而增加。但也有减产报道^[16]。本试验进一步证明秸秆还田有极显著的增产作用,还田量 9 000 kg/hm² 处理与对照间差异显著 ($P < 0.05$),较对照增产 15.70%,还田量 6 000 kg/hm² 处理产量较对照增加 6.22%,但较还田量 9 000 kg/hm² 处理低 8.93%,表现出随着还田量的增加,产量增加。秸秆还田之所以能增加作物产量,是由于秸秆还田能改善土壤物理性状和增加土壤有机质含量^[17],提高土壤的蓄水保墒能力,更好地发挥了土壤水库的调蓄作用,提高土壤水分供应能力,从而形成较高产量。本试验表明,秸秆还田处理的土壤水分条件较对照有显著改善,因而相应的供试作物产量也较对照有显著提高。

3.3 关于秸秆还田与作物水分利用效率及耗水量

秸秆还田提高了土壤中矿质营养浓度,作物所需矿质营养元素得到补充后,可促进植株气孔开放,增强了作物的有效蒸腾,从而提高作物水分利用效率^[18]。本试验两年研究结果表明,还田量 9 000 kg/hm² 处理耗水量和水分利用效率均与对照间差异显著 ($P < 0.05$),水分利用效率较对照提高 5.66%,与华北平原冬小麦秸秆还田试验结果相一致^[4];耗水量较对照提高 8.9%。秸秆还田能够提高水分利用效率,是因为秸秆还田具有培肥改土作用,有助于提高土壤中矿质营养浓度,可增强作物的有效蒸腾,从而提高作物水分利用效率。秸秆还田通过改善土壤物理性状可有效保蓄水分,增加土

壤有效水储量,使秸秆还田处理冬小麦长势茂盛,生物量高,产生相对大的叶面蒸腾,耗水量相应增加。

4 结 论

1) 秸秆还田可以有效地增加农田土壤水分含量,改善了作物的水分状况,起到蓄水保墒的作用,且随秸秆还田量增加,其土壤水分含量提高幅度增大,且还田量越高,效果越好。

2) 秸秆还田可提高土壤的蓄水保水的能力,保证作物需水关键期的供水,缓解了旱地作物水分供需矛盾,提高作物产量;秸秆还田能够有效提高冬小麦水分利用效率,两者均随秸秆还田量的增加而增加。

参 考 文 献:

[1] 吕 雯,汪有科.不同秸秆还田模式冬麦田土壤水分特征比较[J].干旱地区农业研究,2006,24(3):68—71.
 [2] 赵秉宝,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.
 [3] 江永红,字振荣,马永良.秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J].土壤通报,2001,32(5):209—213.
 [4] 张忠学,温金祥,吴文良.华北平原冬小麦不同培肥措施的节水增产效应研究[J].灌溉排水,2002,19(1):9—11.
 [5] 彭祖厚,唐德琴.秸秆还田在培肥地力上的作用[J].土壤肥料,1998,(2):11—15.

[6] 劳秀荣,孙伟红,王 真,等.秸秆与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J].土壤学报,2003,40(4):618—623.
 [7] 余延丰,熊桂云,张继铭,等.秸秆还田对作物产量和土壤肥力的影响[J].湖北农业科学,2008,47(2):169—171.
 [8] 曾木祥,王蓉芳,彭世琪,等.我国主要农区秸秆还田试验总结[J].土壤通报,2002,3(1):336—339.
 [9] 于振文.作物栽培学各论[M].北京:中国农业出版社,2005:58—59.
 [10] 李宗新,董树亭,胡昌浩,等.有机无机肥互作对玉米产量及耕层土壤特性的影响[J].玉米科学,2004,12(3):100—102.
 [11] 谢瑞芝,李少昆,李小君,等.中国保护性耕作研究分析—保护性耕作与作物生产[J].中国农业科学,2007,40(9):1914—1924.
 [12] 孙伟红.长期秸秆还田改土培肥综合效应的研究[D].泰安:山东农业大学,2004.
 [13] 丁昆仑, Hann M J. 耕作措施对土壤特性及作物产量的影响[J].农业工程学报,2000,16(3):28—32.
 [14] 任仲杰,顾孟迪.我国农作物秸秆综合利用与循环经济[J].安徽农业科学,2005,33(11):2105—2106.
 [15] Kumar K, Goth K M. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield and nitrogen recovery[J]. Advance in Agronomy, 2000,68:197—319.
 [16] 刘巽浩,高旺盛,朱文珊.秸秆还田机理与技术模式[M].北京:中国农业出版社,2001:14—15.
 [17] 罗珠珠,黄高宝,张国盛.保护性耕作对黄土高原旱地表土容重和水分入渗的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):7—11.
 [18] Tiadale S L, Nelson W L. Soil fertility and fertilizer[M]. Beijing: Science Press, 1984:394—410.

Effects of wheat-residue application on soil water and water use efficiency in the Weibei Loess Plateau

MA Xiao-li^{1,2}, JIA Zhi-kuan¹, XIAO En-shi³, WANG Wen-yue¹, LIU Ting¹, LIU Yan-hong¹, CUI Rong-mei¹

(1. Research Center of Agriculture in Arid and Semiarid Areas, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Technology promotion Center of Agriculture in Hanzhon city, Hanzhong, Shaanxi 72300, China;

3. College of agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The purpose of this study was to investigate the effects of wheat-residue application on soil moisture, winter wheat yield and water use efficiency. Experiments on application of wheat straw to soil in the Weibei Loess Plateau of Shaanxi Province were conducted during 2008 ~ 2009 to study the effect of straw returning on soil moisture changes at different layers, crop yield and water use efficiency. The results showed that from sowing to heading stage, wheat-residue application treatment of 9 000 kg/hm² made a significant difference compared to control, in the 0 ~ 80 cm soil layer, the soil water storage was increased by 15.96 mm ($P < 0.05$), while in the 80 ~ 200 cm layer, it was increased by 15.11 mm ($P < 0.01$). In the 0 ~ 80 cm soil layer, soil water storage with the treatment of 6 000 kg/hm² was increased by 10.74 mm compared with control. Wheat-residue application treatment of 9 000 kg/hm² made a great contribution to the improvement of winter wheat yield, water use efficiency and water consumption, all increased by 15.70%, 5.66% and 8.9% respectively compared with control. At the same time, straw returning treatment of 6 000 kg/hm² increased winter wheat yield by 6.22% ($P < 0.05$) compared with control, while it was 8.93% ($P < 0.05$) less than that with 9 000 kg/hm² treatment, and there was no significant difference in water use efficiency and water consumption compared with control. As a whole, application of wheat straw to soil is important for the improvement of soil water storage, and it can significantly increase winter wheat yield, water use efficiency and water consumption.

Keywords: wheat residue incorporation; water storage; yield; water use efficiency