

保护性耕作下西南旱三熟农田土壤水分动态及产量效应

邹聪明¹, 胡小东¹, 张云兰¹, 薛兰兰¹,

Shakeel Ahmad Anjum¹, 肖发萍², 李保证¹, 王龙昌¹

(1. 西南大学 农学与生物科技学院, 重庆 400715; 2. 重庆市云阳县农委, 重庆 404500)

摘要: 以西南地区麦/玉/薯三熟制种植模式为研究对象, 研究了不同保护性耕作模式下旱地土壤水分动态变化、水分利用效率、作物产量和经济效应。结果表明, 不同保护性耕作对整个农田生态系统产量和水分利用效率具有显著影响。秸秆覆盖(TS)、地膜覆盖(TM)、秸秆覆盖+地膜覆盖(TSM)和垄作+秸秆覆盖+地膜覆盖(RSM)能改善7, 10月份0-60 cm 土层土壤含水量及贮水量, 而垄作(R)、垄作+秸秆覆盖(RS)和垄作+地膜覆盖(RM)的作用不明显。与平作(CK)相比, RSM, RM, RS, TSM, TM, TS 和 R 分别使系统增产 10.52%, 6.11%, 6.77%, 4.59%, 5.12%, 3.15%, 1.24%。这些处理对水分利用效率和降水利用效率的增幅分别为 1.26%~11.08%, 1.27%~10.57%。研究结果说明, 从 WUE、降水利用效率、产量效应、经济效益这 4 个方面来看, 垄作+秸秆覆盖+地膜覆盖耕作模式综合效益最佳。

关键词: 西南地区; 保护性耕作; 水分动态; 作物产量; 水分利用效率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0069-06

中图分类号: S157.4, S152.7

Soil Moisture Dynamics and Crop Yield with Conservation Tillage in Tri-crop Intercropping System of Southwest China

ZOU Cong-ming¹, HU Xiao-dong¹, ZHANG Yun-lan¹, XUE Lan-lan¹,

Shakeel Ahmad Anjum¹, XIAO Fa-ping², LI Bao-zheng¹, WANG Long-chang¹

(1. College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University,

Chongqing 400715, China; 2. Agriculture Committee of Yunyang, Chongqing 404500, China)

Abstract: Dynamics of soil moisture in root layer, water use efficiency, crop yield, and economic benefits under different types of conservation tillage were studied with the triple crops of wheat-maize-sweet potato in the southwest China. Results indicated that different types of conservation tillage had significant effects on crop yield and water use efficiency. Straw mulching (TS), film mulching (TM), straw mulching plus film mulching (TSM), and ridge plus straw mulching plus film mulching (RSM) increased soil water storage and soil moisture in 0-60 cm soil layer in July and October, while ridge (R), ridge plus straw mulch (RS), and ridge plus film mulching (RM) can not remarkably affect the indexes. RSM, RM, RS, TSM, TM, TS, and R increased average yield by 0.52%, 6.11%, 6.77%, 4.59%, 5.12%, 3.15%, and 1.24%, respectively, compared with CK. The comprehensive effect of ridge plus straw mulching plus film mulching was the best in view of water use efficiency, rainfall use efficiency, crop yield, and economic benefits.

Keywords: Southwest China; conservation tillage; soil moisture dynamics; crop yield; water use efficiency

保护性耕作(conservation tillage)能够减少水土流失、提高耕地产量, 是一种既具有生态保护性, 又具农业生产增长潜力的持续性农业耕作形式。随着全球气候变化, 生态环境不断恶化, 保护性耕作越来

越多的引起重视。免耕、少耕、垄作、地膜覆盖、秸秆覆盖都是重要的保护性耕作手段, 它们对农田土壤理化性质、生态环境都有报道¹⁻³; 在增加土壤肥力, 促进作物生长发育, 提高产量方面已被许多研究证

收稿日期: 2010-04-18

修回日期: 2010-05-10

资助项目: 国家“十一五”科技支撑项目“西南季节性干旱区集雨补灌技术集成与示范”(2006BAD29B08); 国家自然科学基金项目(30871474); 重庆市科技攻关项目(CSTC, 2008AB1001); 西南大学农业部生物技术与作物品质改良重点开放实验室基金项目

作者简介: 邹聪明(1983-), 男(汉族), 福建省福州市人, 硕士研究生, 主要从事作物栽培学与耕作学、生态农业与可持续发展研究。E-mail: zoucongmingzou@126.com.

通信作者: 王龙昌(1964-), 男(汉族), 陕西省周至县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事生态农业与可持续发展研究。E-mail: wanglc2003@163.com.

实^[4,9]。保护性耕作在我国北方地区应用广泛,成果丰硕,作物的水分响应方面的研究也较为深入^[2],而西南地区保护性单项措施研究取得一定成果,但针对三熟制种植特点而进行保护性耕作配套模式的研究和土壤水分动态分析较为罕见。

在西南三熟制地区,旱作农业在农业生产中占有重要地位。该区旱作农田的主要特点为:丘陵山地居多,土层浅薄,土壤水库调节能力有限,灌溉水源贫乏,是典型的雨养农业;同时降水四季分布不均,干旱发生频繁,水分是制约旱作农业可持续发展的限制因子^[7-9]。本试验以保持土壤水分、调节水分供应为出发点,针对西南三熟制地区传统耕作方式所存在的问题,选取该区坡耕地粮食生产的主体种植模式——“小麦/玉米/甘薯”复种轮作三熟制为对象,重点研究不同保护性耕作措施对土壤水分动态规律及产量效应的影响,以期探索出适合当地种植方式、高保水能力的耕作模式,实现该区农业生产的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于 2008 年 3 月至 2009 年 10 月在重庆市云阳县磐石镇进行,磐石镇位于重庆市东北部,属东南中亚带湿润气候。试验地海拔 340 m,年均太阳总辐射量 3 121.55 MJ/m²,年均总日照时数 1 258.3

h,多年平均气温 18 ℃,多年平均降雨量 1 229.2 mm。试验地土壤为旱地紫色土,坡度较缓,地力相对均匀,土壤容重 1.25 g/cm³,但土层较薄。整个试验阶段,2008 年玉米生育期降水 458.8 mm,2008 年甘薯生育期降水 716.0 mm,2009 年小麦生育期降水 247.6 mm,2009 年玉米生育期降水 646.0 mm,2009 年甘薯生育期降水 732.7 mm。

1.2 试验设计

试验采用“小麦/玉米/甘薯”旱三熟复种轮作模式。共设 8 个处理,3 次重复,随机区组排列,横坡起垄,每个小区的面积为 8.00 m×2.50 m。每个小区均分 4 条带,每个条带宽度为 1.0 m,长度为 2.5 m。供试作物为小麦、玉米(鑫玉二号、播种量 41 kg/hm²)和甘薯(徐薯 88)。小麦各处理均施过磷酸钙 390 kg/hm²,尿素 152 kg/hm²,作为基肥在播种的同时施入;玉米各处理均施过磷酸钙 148 kg/hm²,尿素 74 kg/hm²,作为基肥在移栽玉米时施入。玉米采用育苗移栽,每条带 6 窝,每窝 2 株,总计每小区 96 株(折合 4 7600 株/hm²)。甘薯各处理均施过磷酸钙 300 kg/hm²,每小区移栽 68 株(折合 35 700 株/hm²)。覆盖处理所用的玉米及小麦秸秆均切成 20~40 cm 段,收获后均匀覆盖于小区内,每小区覆盖秸秆 32.25 kg(折合 11 993.45 kg/hm²),田间管理措施同常规。

表 1 试验设计及其对应编号

| 处理编号 | 小麦 | 玉米 | 红薯 |
|------|--------------|--------------|---------|
| T/CK | 平作 | 平作 | 平作 |
| R | 平作 | 平作 | 垄作 |
| TS | 秸秆覆盖+平作 | 秸秆覆盖+平作 | 秸秆覆盖+平作 |
| RS | 秸秆覆盖+平作 | 秸秆覆盖+平作 | 秸秆覆盖+垄作 |
| TM | 地膜覆盖+平作 | 地膜覆盖+平作 | 平作 |
| RM | 地膜覆盖+平作 | 地膜覆盖+平作 | 垄作 |
| TSM | 秸秆覆盖+地膜覆盖+平作 | 秸秆覆盖+地膜覆盖+平作 | 秸秆覆盖+平作 |
| RSM | 秸秆覆盖+地膜覆盖+平作 | 秸秆覆盖+地膜覆盖+平作 | 秸秆覆盖+垄作 |

1.3 土壤水分测定

土壤含水量采用铝盒烘干法测定,采用对角线取样法,每次每小区取 5 个点。作物共生期分别在不同作物地里取 5 各点求加权平均;起垄作物地分别在垄背和垄坡取 2 个点再求加权平均。因试验地是坡地,土层较薄,土壤水分测定分 3 个层次:依次为 0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm。采用烘干法测定,即可计算出土壤含水量(W%)和土壤贮水量(W)。测定时间为 2008 年与 2009 年的 3 月、6 月、7 月和 10 月 24 号前后。

1.4 试验阶段降水变异

试验期间实际降水情况由自动气象站记录,如表 2 所示。根据中国气象资源共享网资料统计,2008 年 3 月至 2009 年 10 月降水量为 2 095.2 mm,比多年平均(30 a)降水量 2 357.8 mm 少 262.6 mm,两年都属于平水年。多年平均降雨多集中 4—10 月。由降水量相对变化率 $\geq 25\%$ 为丰水月,降水量相对变化率 $\leq -25\%$ 为干旱月可知,2008 年 5、6、7、12 月和 2009 年 2、7、1 月为干旱月;2008 年 8 月和 2008 年 9 月为丰水月,干旱月发生率明显高于丰水月。

表2 试验期间降水量与相对变化率

| 试验期 | 试验期 降水量/mm | 多年平均 降水量/mm | 降水相对 变化率/% |
|--------|---------------|----------------|---------------|
| 200803 | 51.9 | 47.6 | 9.03 |
| 200804 | 90.9 | 111.9 | -18.77 |
| 200805 | 76.1 | 173.1 | -56.04 |
| 200806 | 136.5 | 184.6 | -26.06 |
| 200807 | 103.4 | 194.7 | -46.89 |
| 200808 | 293.7 | 150.4 | 95.28 |
| 200809 | 75.0 | 166.4 | -54.93 |
| 200810 | 107.4 | 101.2 | 6.13 |
| 200811 | 42.9 | 48.9 | -12.27 |
| 200812 | 12.0 | 19.7 | -39.09 |
| 200901 | 11.6 | 12.8 | -9.38 |
| 200902 | 8.3 | 16.6 | -50.00 |
| 200903 | 58.2 | 47.6 | 22.27 |
| 200904 | 114.6 | 111.9 | 2.41 |
| 200905 | 180.0 | 173.1 | 3.99 |
| 200906 | 217.2 | 184.6 | 17.66 |
| 200907 | 76.0 | 194.7 | -60.97 |
| 200908 | 145.1 | 150.4 | -3.52 |
| 200909 | 222.3 | 166.4 | 33.59 |
| 200910 | 72.1 | 101.2 | -28.75 |

1.5 产量测定与水分利用效率计算

采用全收获法测量,将产量由小区(面积 $8.00\text{ m} \times 2.50\text{ m}$)折算为单产(kg/hm^2)。水分利用效率(WUE)采用如下公式计算:

$$WUE=Y/ET=Y/(P+W_1-W_2)$$

式中: Y ——作物产量(kg/hm^2); ET ——全生育期内的蒸散量,即耗水量; P ——生育期降水量(mm); W_1 , W_2 ——分别为作物播种期(或移栽期)的土壤贮水量和收获期的土壤贮水量(mm)。

表3 试验期不同处理0—60 cm 土层土壤贮水量动态

| 试验期 | T | R | TS | RS | TM | RM | TSM | RSM |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 200805 | 119.84 | 119.84 | 119.84 | 119.84 | 119.84 | 119.84 | 119.84 | 119.84 |
| 200806 | 109.29 | 99.88 | 109.47 | 108.45 | 105.76 | 104.80 | 103.57 | 119.61 |
| 200807 | 122.49 | 120.57 | 130.62 | 117.36 | 126.68 | 124.91 | 133.41 | 124.42 |
| 200810 | 142.38 | 143.60 | 149.68 | 145.66 | 147.33 | 140.66 | 148.49 | 153.66 |
| 200905 | 99.45 | 90.29 | 99.72 | 98.77 | 96.09 | 95.12 | 94.73 | 110.02 |
| 200906 | 134.11 | 124.04 | 133.63 | 132.52 | 129.84 | 128.71 | 127.65 | 143.68 |
| 200907 | 92.99 | 90.23 | 100.96 | 82.87 | 97.18 | 94.58 | 102.99 | 95.59 |
| 200910 | 134.55 | 134.94 | 141.85 | 137.21 | 140.50 | 133.58 | 140.66 | 145.00 |

2.2 保护性耕作条件下各生育期不同处理0—60 cm 土壤水分垂直动态变化

不同保护性耕作模式对三熟制作物各生育期土壤含水量的影响不同,农田土壤水分垂直变化随降水量

1.6 数据处理

所有数据采用 Excel 软件处理,运用 DPS 软件进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 保护性耕作条件下不同处理0—60 cm 土层土壤贮水量动态

表3为试验期不同处理0—60 cm 土层土壤贮水量动态。从表中可以看出,保护性耕作措施对土壤贮水量的影响很大,但其影响程度与当年的降水量,分配程度以及当月的温度密切相关。整个试验阶段,与T(CK)相比,R,TS,RS, TM, RM, TSM, RSM 各处理土壤贮水量最大增加量分别为1.22, 8.13, 3.28, 5.95, 2.42, 10.92和11.28 mm。从T与R, TS与TR, TM与RM相互之间的比较,可以看出垄作在一定程度上减少了土壤的贮水量,这是因为起垄改善了土壤通气性,增加土体与大气的交界面,昼夜温差大,有利于田间降湿排水;从T, TS和TM之间的比较,可以看出秸秆覆盖的保水效果要强于地膜覆盖,这是由于秸秆覆盖使土壤蒸发受限,减少了土壤蒸发,具有较好的蓄水保墒作用,分解了的秸秆粗纤维,可有效防止土壤板结,使之有更好的入渗能力和持水能力,而地膜覆盖虽然机械阻止土壤蒸发,提高土壤含水量,但也阻止大量雨水入渗,造成降水无效蒸发^[10-13],这可以从T与TM比较可以看出,6月份是每年降水最集中的时候,但地膜覆盖处理田间贮水量要明显低于对照;从TSM与RSM比较,可以看出RSM保水效果要强于TSM,但是在7月的时候土壤贮水量要低于TSM,与平作相比,垄作更有利于薯类生长,7月份正处于甘薯分枝期,生长迅速,耗水量大,故贮水量降低了。

变化及不同土壤耕作措施而表现出一定的变化。表4是不同保护性耕作措施在麦、玉、薯不同生育期0—60 cm 土壤平均含水量变化情况。麦、玉、薯这3种作物在不同耕作措施下,土壤含水量也表现出不同的变化

趋势。从表 4 可以看出,不同的保护性耕作措施对 0—20 cm 土层含水量作用较明显,对 20—60 cm 土层的效果规律性不强。这由于试验地位于山脚,坡度为 5°,土层新生、较薄,土壤深度在均 60—80 cm 左右,因此 20—60 cm 土层持水能力弱。从 2008 年 6 月至 2009 年 10 月土壤含水量可以看出,在 0—20 cm 的土层,与 T 比较,垄作对土壤含水量变化作用不大, T 与 R 比较并无差异。但从 T 与 R 相比来看,20—60 cm 的

土层含水量垄作要比平作略低,这由于高垄具有一定高度差与重力势能,有利于排水。在 0—20 cm 的土层,土壤含水量顺序为: TSM> TS> TM> T,说明了秸秆覆盖与地膜覆盖都能促进了土壤含水量,两者的综合效果更好。在高温伏旱天气,这个规律最为明显,2008 年 7 月份,与对照相比, TSM, TS, TM 土壤含水量分别提高了 17.11%, 9.87%, 7.05%; 在 2009 年 7 月提高率分别为 19.24%, 10.41%, 6.76%。

表 4 麦/玉/薯三熟体系不同生育时期各处理土壤含水量变化

| 生育期 | 土层/cm | 处理 | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | T | R | TS | RS | TM | RM | TSM | RSM |
| 200803 玉米播种期 (小麦抽穗期) | 0—20 | 17.05 | 17.05 | 17.05 | 17.05 | 17.05 | 17.05 | 17.05 | 17.05 |
| | 20—40 | 15.26 | 15.26 | 15.26 | 15.26 | 15.26 | 15.26 | 15.26 | 15.26 |
| | 40—60 | 15.63 | 15.63 | 15.63 | 15.63 | 15.63 | 15.63 | 15.63 | 15.63 |
| 200806 玉米乳熟期 (甘薯插苗期) | 0—20 | 14.71 | 14.88 | 15.61 | 15.90 | 15.14 | 14.98 | 15.04 | 16.39 |
| | 20—40 | 14.54 | 13.15 | 13.96 | 14.03 | 14.55 | 13.97 | 13.00 | 16.13 |
| | 40—60 | 14.46 | 11.92 | 14.22 | 13.45 | 12.61 | 12.96 | 13.39 | 15.32 |
| 200807 玉米成熟期 (甘薯分枝期) | 0—20 | 16.31 | 16.37 | 17.92 | 16.89 | 17.46 | 16.23 | 19.10 | 16.75 |
| | 20—40 | 16.59 | 16.36 | 17.96 | 15.94 | 17.19 | 16.75 | 16.95 | 16.10 |
| | 40—60 | 16.10 | 15.50 | 16.37 | 14.12 | 16.02 | 16.99 | 17.32 | 16.92 |
| 200810 甘薯成熟期 | 0—20 | 19.83 | 19.97 | 20.96 | 19.76 | 19.51 | 18.55 | 20.94 | 20.87 |
| | 20—40 | 18.38 | 18.68 | 19.50 | 19.36 | 19.92 | 19.09 | 18.88 | 20.45 |
| | 40—60 | 18.75 | 18.78 | 19.42 | 19.15 | 19.50 | 18.62 | 19.58 | 20.15 |
| 200903 玉米播种期 (小麦抽穗期) | 0—20 | 13.38 | 13.59 | 14.29 | 14.61 | 13.85 | 13.69 | 13.75 | 15.10 |
| | 20—40 | 13.25 | 11.90 | 12.67 | 12.74 | 13.26 | 12.68 | 11.74 | 14.88 |
| | 40—60 | 13.14 | 10.63 | 12.93 | 12.16 | 11.32 | 11.67 | 12.40 | 14.03 |
| 200906 玉米乳熟期 (甘薯插苗期) | 0—20 | 18.22 | 18.09 | 18.82 | 19.11 | 18.35 | 18.16 | 18.25 | 19.60 |
| | 20—40 | 17.75 | 16.40 | 17.17 | 17.24 | 17.76 | 17.18 | 16.21 | 19.34 |
| | 40—60 | 17.67 | 15.13 | 17.46 | 16.66 | 15.82 | 16.14 | 16.60 | 18.53 |
| 200907 玉米成熟期 (甘薯分枝期) | 0—20 | 12.58 | 12.31 | 13.89 | 12.89 | 13.43 | 12.19 | 15.00 | 12.99 |
| | 20—40 | 12.56 | 12.32 | 13.92 | 11.91 | 13.16 | 12.72 | 12.91 | 12.36 |
| | 40—60 | 12.06 | 11.46 | 12.57 | 8.36 | 12.28 | 12.92 | 13.29 | 12.88 |
| 200910 甘薯成熟期 | 0—20 | 18.69 | 19.21 | 19.79 | 18.68 | 19.01 | 18.05 | 19.77 | 19.73 |
| | 20—40 | 17.21 | 17.18 | 18.66 | 18.20 | 18.85 | 17.89 | 18.04 | 19.32 |
| | 40—60 | 17.91 | 17.58 | 18.28 | 18.01 | 18.33 | 17.49 | 18.45 | 18.95 |

2.3 不同处理下产量和水分利用效率分析

水分利用效率是研究作物产量、蒸腾耗水和地表蒸发之间相互消长关系的具体表现。由表 5 得出,各处理的系统平均产量排列顺序为: RSM> RM> RS> TSM> TM> TS> R> T(CK),其中 RSM 比 T(CK)提高了 10.97%,且达到显著水平。垄作能显著增加甘薯产量,最高产量达到 5 746.67 kg/hm²,主要是因为起垄使覆土深厚,土层松软,有利地中茎伸长,多结薯结大薯,同时改善中后期田间通风透光条件,减轻荫蔽,提高光合效率,增大昼夜温差,促进淀粉积累。与 T 相比, TSM、TM 和 TS 对玉米与小麦都有不同程度的增产作用,小麦增产幅度为 5.44%~9.29%,玉

米为 1.94%~9.22%。表明土壤剖面水分的提高,为作物生长创造了一个良好的土壤环境,秸秆中大量的纤维素、蛋白质等有机质和矿物质元素能提高土壤肥力,达到稳产、高产的效果^[14]。地膜覆盖能地膜能通过其透射率直接影响覆盖层下土壤表面对光照热能的摄取及转换^[15],同时具有保墒、增温功能,作物的生长发育明显改善,从而促进玉米、麦子增产。

由表 5 可知,在整个试验期内,处理 RSM, TSM, RS, TM, TS 和 R 的耗水量比 T(CK)均有减少趋势,与系统总耗水量趋势一致。相比对照,各个处理总的水分利用效率与降水生产效率都有所提高,其顺序均为: RSM> RM> RS> TSM> TM> TS> R> T(CK)。

表5 保护性耕作对三熟体系产量及水分利用率的影响

| 作物 | 处理编号 | 耗水量/mm | 生育期间 降水量/mm | 经济产量/ (kg/hm ²) | WUE/ (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹) | 降水生产效率/ (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹) |
|----|------|----------|----------------|--------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 玉米 | T/CK | 456.15 | 458.80 | 7 075.19 ^d | 15.51 | 15.42 |
| | TS | 448.02 | 458.80 | 7 212.25 ^c | 16.10 | 15.72 |
| | TM | 451.97 | 458.80 | 7 511.88 ^b | 16.62 | 16.37 |
| | TSM | 445.23 | 458.80 | 7 727.56 ^a | 17.36 | 16.84 |
| 甘薯 | T/CK | 682.91 | 716.00 | 3 786.67 ^b | 5.54 | 5.29 |
| | R | 672.29 | 716.00 | 3 943.33 ^{ab} | 5.87 | 5.51 |
| | TS | 675.80 | 716.00 | 3 970.00 ^{ab} | 5.87 | 5.54 |
| | RS | 678.78 | 716.00 | 4 266.67 ^a | 6.29 | 5.96 |
| 小麦 | T/CK | 255.87 | 247.60 | 2 943.33 | 11.50 | 11.89 |
| | TS | 263.65 | 247.60 | 3 103.33 | 11.77 | 12.53 |
| | TM | 265.09 | 247.60 | 3 190.00 | 12.03 | 12.88 |
| | TSM | 268.44 | 247.60 | 3 216.67 | 11.98 | 12.99 |
| 玉米 | T/CK | 652.46 | 646.00 | 8 669.38 ^b | 13.29 | 13.42 |
| | TS | 644.76 | 646.00 | 8 837.29 ^{ab} | 13.71 | 13.68 |
| | TM | 644.91 | 646.00 | 8 869.79 ^{ab} | 13.75 | 13.73 |
| | TSM | 637.74 | 646.00 | 9 007.90 ^a | 14.12 | 13.94 |
| 甘薯 | T/CK | 732.27 | 732.70 | 4 920.00 | 6.72 | 6.71 |
| | R | 721.80 | 732.70 | 5 373.33 | 7.44 | 7.33 |
| | TS | 724.49 | 732.70 | 4 893.33 | 6.75 | 6.68 |
| | RS | 728.01 | 732.70 | 5 746.67 | 7.89 | 7.84 |
| 系统 | T/CK | 2 080.49 | 2 095.20 | 27 307.88 ^b | 13.13 ^b | 13.03 ^b |
| | R | 2 080.10 | 2 095.20 | 27 667.92 ^b | 13.30 ^b | 13.21 ^b |
| | TS | 2 073.20 | 2 095.20 | 27 967.63 ^b | 13.49 ^b | 13.35 ^b |
| | RS | 2 077.83 | 2 095.20 | 28 898.13 ^{ab} | 13.91 ^{ab} | 13.79 ^{ab} |
| | TM | 2 074.55 | 2 095.20 | 28 324.58 ^{ab} | 13.65 ^{ab} | 13.52 ^{ab} |
| | RM | 2 081.46 | 2 095.20 | 29 265.42 ^{ab} | 14.06 ^{ab} | 13.97 ^{ab} |
| | TSM | 2 074.38 | 2 095.20 | 28 795.42 ^{ab} | 13.88 ^{ab} | 13.74 ^{ab} |
| | RSM | 2 070.05 | 2 095.20 | 30 302.21 ^a | 14.64 ^a | 14.46 ^a |

注: 甘薯产量按块根鲜重的 1/5 折算成粮食; 系统的产量=玉米产量+甘薯产量+小麦产量+玉米产量+甘薯产量; 处理间标记字母不同, 表示差异显著($P < 0.05$)。

2.4 不同处理经济效益分析

由表6可以看出, 和对照处理 T 相比, 其他各处理的产出、纯收入均有一定程度的提高, 其中产出提高了 1.76%~12.57%、纯收入提高了 0.95%~

11.42%, 排列顺序均为: RSM>RM>RS>TSM>TM>TS>R>T; 而产投比减少值在 0.08~0.46 之间, 排列顺序为: T>TS>RS>R>TM>TSM>RSM>RM。

表6 不同处理经济效益分析

| 处理编号 | 投入量/(元·hm ⁻²) | | | | 产出量/ (元·hm ⁻²) | 纯收入/ (元·hm ⁻²) | 产投比 |
|------|---------------------------|-------|-------|--------|-------------------------------|-------------------------------|------|
| | 种子/种苗 | 化肥与地膜 | 人工折价 | 合计 | | | |
| T/CK | 900 | 4 500 | 4 000 | 9 400 | 63 294.84 | 53 894.84 | 6.73 |
| R | 900 | 4 500 | 4 600 | 10 000 | 64 404.25 | 54 404.25 | 6.44 |
| TS | 900 | 4 500 | 4 300 | 9 700 | 64 578.39 | 54 878.39 | 6.66 |
| RS | 900 | 4 500 | 4 900 | 10 300 | 68 090.63 | 57 790.63 | 6.61 |
| TM | 900 | 5 100 | 4 300 | 10 300 | 65 226.25 | 54 926.25 | 6.33 |
| RM | 900 | 5 100 | 4 900 | 10 900 | 68 519.08 | 57 619.08 | 6.29 |
| TSM | 900 | 5 100 | 4 600 | 10 600 | 66 469.08 | 55 869.08 | 6.27 |
| RSM | 900 | 5 100 | 5 200 | 11 200 | 71 248.64 | 60 048.64 | 6.36 |

注: 表内经济数据均按当地当年数据折算, 由云阳县农机推广总站提供。

3 结论

(1) 保护性耕作是保土保水的有效农艺措施。其中免耕秸秆覆盖、地膜覆盖能有效减少土壤蒸发、增加土壤的有效持水量,提高水分利用效率、降水利用率、作物产量以及经济效益。

(2) 垄作措施(包括 R, RS, RM)并不能影响 0—60 cm 土壤贮水量,这由于高垄相比平作具有一定高度差,势能作用利于排水,从而降低土壤含水率,同时垄作松土作用又使土壤容重降低,故该措施不能提高土壤贮水量。秸秆覆盖与地膜覆盖措施能明显提高土壤贮水量,特别在高温伏旱的 7 月份。如 2008 年 7 月,与对照 T 相比, TSM, TM, TS 和 RSM 处理 0—60 cm 土壤贮水量分别提高了 8.92%, 6.64%, 3.42%, 1.58%; 2009 年 7 月,分别提高了 10.75%, 8.57%, 4.51%, 2.80%。可以看出秸秆和地膜覆盖都能提供土壤土壤贮水量,相互配合使用效果更好,但是配合垄作之后如 RSM,排水能力加强,而保水效果降低。

(3) 秸秆覆盖与地膜覆盖都能促进了 0—20 cm 的土层土壤含水量,两者的综合效果更好,这由于秸秆分解后的粗纤维,有效防止土壤板结,使之有更好的入渗能力和持水能力,秸秆覆盖起到保持地温的作用,使下层土壤水分往上层运输。已有研究表明^[12],秸秆覆盖在作物生长前期最能抑制蒸发,保持土壤水分,与本研究结果一致。地膜覆盖能在膜下形成较小水循环系统,这能使由土壤热传导作用蒸发上来的水分在膜下凝结成水滴返回土壤,使地表 20 cm 土层在长期无降水补给时仍能维持较高的含水量,与本研究结果一致。但是垄作对 0—20 cm 的土层含水量并没有多大影响,而 20—60 cm 的土层含水量垄作要比平作略低。

(4) 两年三熟制轮作的系统产量、WUE、降水利用效率排列顺序均为: RSM>RM>RS>TSM>TM>TS>R>T(CK)。整个系统总耗水量与对照 T 相比有减少趋势,其原因是由于秸秆覆盖、垄作和地膜覆盖减少了土壤水分的无效蒸发,促进植株蒸腾,使无效耗水转化为有效耗水,从而提高农田水分利用效率,降低耗水量。

(5) 某一组处理的优劣,不能仅用产量和水分利用效率来衡量,要对经济效益做出综合评价。经过两季的轮作,各个处理经济效益的排列顺序均为: RSM>RM>RS>TSM>TM>TS>R>T;产投比却都比对照 T 小,这由于保护耕作增加了地膜与人工的投入。综合 WUE、降水利用效率、产量效应、经济效益

4 个方面,垄作+秸秆覆盖+地膜覆盖耕作模式综合效益最好,可考虑在西南三熟制地区推广。

(6) 本次试验只持续了 2 a,且这两年均属平水年,而丰水年和欠水年里不同处理的土壤水分和产量变化情况将是下一步研究的重点。

[参 考 文 献]

- [1] 刘世平,庄恒扬,陆建飞,等.免耕法对土壤结构影响的研究[J].土壤学报,1998,35(1):33-37.
- [2] 黄高宝,郭清毅,张仁陟,等.保护性耕作条件下旱地农田麦—豆双序列轮作体系的水分动态及产量效应[J].生态学报,2006,26(4):1177-1184.
- [3] 蔡立群,齐鹏,张仁陟,等.不同保护性耕作措施对麦—豆轮作土壤有机碳库的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(1):1-6.
- [4] 劳秀荣,吴子一,高燕春.长期秸秆还田改土培肥效应的研究[J].农业工程学报,2002,18(2):49-52.
- [5] 李贵桐,赵紫娟,黄元仿,等.秸秆还田对土壤氮素转化的影响[J].植物营养与肥料学报,2002,8(2):162-167.
- [6] 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[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):69-73.
- [7] 王彩绒,田霄鸿,李生秀,沟壑覆膜集雨栽培对冬小麦水分利用效率及产量的影响[J].中国农业科学,2004,37(2):208-214.
- [8] 高明,王子芳,魏朝富,等.重庆水资源的农业利用及节水农业的发展对策[J].西南农业大学学报:自然科学版,2004,26(6):727-729.
- [9] 邹聪明,王国鑫,胡小东,等.秸秆覆盖对套作玉米苗期根系发育与生理特征的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(3):1-5.
- [10] Jones O R, Hanser V L. No-tillage effects on infiltration, runoff and water conservation on dryland [J]. American Society of Agriculture Engineers, 1994, 37(2):473-479.
- [11] Wittmus H, Yazar A. Moisture Storage. Water use and corn yield for seven tillage systems under water stress [R]. Proceeding of Crop Production with Conservation Tillage in the 80s. ASAE, St Joseph MI, 1980.
- [12] 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.
- [13] 陈素英,张喜英,刘孟雨.玉米秸秆覆盖麦田下的土壤温度和土壤水分动态规律[J].中国农业气象,2002,23(4):34-37.
- [14] 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):59-61.
- [15] 王增红,李援农,王炳英.地膜覆盖对夏玉米生理指标及环境因子的影响研究[J].中国农村水利水电,2009(1):43-45.