

西南高原“旱三熟”地区不同覆盖栽培措施的土壤水分效应

胡兵辉¹, 王 维², 张红芳¹, 张志勇¹

(1. 西南林业大学环境科学与工程学院, 云南 昆明 650224; 2. 西南林业大学计算机与信息学院, 云南 昆明 650224)

摘 要: 在西南高原季节性旱区进行田间试验, 研究不同覆盖栽培条件下“旱三熟”种植模式的农田土壤水分效应。研究表明, 秸秆、地膜覆盖尤其是秸秆地膜二元覆盖有明显蓄集和保存土壤水的作用, 土壤保蓄水度平均提高 60.63%, 覆盖能有效减少田间水分的无效蒸发, 平均减少 181.93 mm, 使作物蒸腾系数和水分利用效率提高, 平均提高 19.84% 和 23.5%, 而使作物耗水系数减小, 平均减少 18.26%, 根区是作物耗水与土壤保蓄水的关键区域; 农田水分变化沿土层可划分为 3 个层次, 即 0~30 cm 土层为土壤水分变化活跃层和土壤贮水变化明显层、30~80 cm 土层为土壤水分变化次活跃层和土壤贮水变化显著层、80~100 cm 土层为土壤水分变化相对稳定层和土壤贮水变化缓慢层。覆盖栽培可促进作物耗水量由田间无效蒸发耗水向有效的田间作物蒸腾耗水转化, 使农田水分的有效性显著提升。

关键词: 旱三熟; 覆盖栽培; 土壤水分效应; 西南高原季节性旱区
中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A

The soil water effects of different mulching cultivation patterns in triple cropping dry-land on southwest plateau

HU Bing-hui¹, WANG Wei², ZHANG Hong-fang¹, ZHANG Zhi-yong¹

(1. Environmental Science and Engineering College, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China;
2. Computer and Information College, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

Abstract: Based on mulching experiments through triple cropping in dry-land of seasonal arid region of southwest plateau, the water effects of different treatments were studied. The results showed that straw and plastic film mulching played a very important role in increasing and reserving soil water. The dual mulching mode with plastic film and straw displayed prominent function, root region was proved to be key region on crop consuming water and soil reserving water. The changes of farmland water were divided into 3 layers: 0~30 cm soil layer that was the active changing layer for soil water content and the obvious changing layer for reserving soil water, 30~80 cm soil layer that was the subordinate active changing layer for soil water content and the significant changing layer for reserving soil water, and 80~100 cm soil layer that was the relative steady changing layer for soil water content and the relative general changing layer for reserving soil water. Furthermore, mulching cultivation could impel the crop consuming water converted into effective crop transpiration consuming water from useless evaporation consuming water, and the availability of farmland water was promoted clearly. Thus, the study on water effects of mulching through triple cropping patterns in dry-land will allow the enhancements of multiple crop index, water use efficiency and water production potentiality in seasonal arid area of southwest plateau.

Keywords: triple cropping in dry-land; mulching cultivation; soil water effects; seasonal arid region in southwest plateau

我国海拔 1 000 m 以上的西南高原季节性干旱区^[1], 范围涉及云南中部和北部、贵州西部、四川西南部, 旱作农田占总耕地面积的 70% 以上, 旱作农业在农业生产中占有重要地位。由于旱作农田主要

收稿日期: 2015-07-20
基金项目: 国家自然科学基金项目(31201173); 云南省高校优势特色重点学科(生态学)建设项目; 西南林业大学科研启动基金项目(111116)
作者简介: 胡兵辉(1979—), 男, 陕西乾县人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为旱区农业资源利用及生态系统调控。E-mail: hubinghui1980@126.com。

分布于缓坡山地区,土层浅薄、水土流失严重、灌溉设施不足,加之季节性干旱多发、降水少而集中、蒸发量大,使农业生产力低而不稳^[2-4]。该区季节性干旱类型主要有春旱、秋旱和冬旱等,其中云南中北部是季节性干旱的多发区和重灾区,元谋干热河谷区是最具代表性的区域,这里高温与干旱常常同步发生^[5-7],对农作物生长发育造成严重危害。“小麦-玉米/黄豆”种植是西南高原季节性旱区常见的旱地种植模式,其种植面积还在持续扩大,具有一定的发展潜力。为了强调前熟作物(玉米/黄豆,雨季生长)对后熟作物(小麦,旱季生长)的影响,文中提到的“旱三熟”模式即“玉米/黄豆-小麦(“/”代表间作,“-”代表连作)”种植。关于该区农田覆盖对多熟种植模式影响的研究还鲜有报道,因此,研究西南高原“旱三熟”地区不同覆盖栽培措施的土壤水分效应,旨在为提高西南高原季节性旱区旱作农田的复种指数、水分利用效率和水分生产潜力服务。

1 试验设计与方法

1.1 试验地概况

试验地位于干热河谷区元谋县新华乡平地村,属山区,海拔 1 617.00 m,属亚热带干旱半干旱气候,光热充足,高温干燥,干旱少雨,干湿季节分明,年降雨量 610~798 mm,集中在 5—9 月份,其它月份少雨或无雨,年蒸发量高达 2 850~3 910 mm,年蒸发量为降水量的 4~6 倍, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $7\ 800^{\circ}\text{C} \sim 8\ 800^{\circ}\text{C}$,年平均气温 $17.5^{\circ}\text{C} \sim 23.6^{\circ}\text{C}$,极端最高气温达 42°C ,极端最低气温 -2°C ,太阳总辐射量 $550.8 \sim 650.9\ \text{kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$,平均年日照时数 $2\ 380.4 \sim 2\ 840.0\ \text{h}$,日照率 62%,干燥度 4.4,年无霜期 320~362 d。试验地土壤为燥红壤,容重 $1.38\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,酸碱度适中($\text{pH} = 7.21$),有机质 $9.81\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $0.91\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷 $0.52\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾 $9.22\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效氮 $77.36\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷 $10.47\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效钾 $80.68\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验地为梯平旱地,“玉米/黄豆-小麦”种植是当地常见的“旱三熟”种植模式,具有一定的典型性。

1.2 试验设计

2013 年 4 月 30 日—12 月 30 日布置了玉米/黄豆-小麦“旱三熟”种植模式田间试验,期间降雨量为 538.78 mm。试验共设置 4 个处理,处理 1:裸地栽培,为当地旱地的主要种植模式;处理 2:秸秆覆盖,秸秆覆盖总量为 $9\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;处理 3:地膜覆盖,玉米地膜宽 40 cm,黄豆、小麦地膜宽 20 cm;处理 4:秸秆地膜二元覆盖,玉米地膜宽 40 cm,黄豆、小麦

地膜宽 20 cm,行间覆盖秸秆,秸秆覆盖量为 $1\ 800\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。玉米株行距为 $30\ \text{cm} \times 50\ \text{cm}$,黄豆株行距 $20\ \text{cm} \times 30\ \text{cm}$,玉米/黄豆行比为 2:3;小麦膜间种植 2 行,行距 10 cm。玉米品种为长城 99,黄豆为滇豆 6 号,小麦为云麦 56。玉米、黄豆点播,小麦条播。以处理 1 为对照,每处理 3 次重复,随机区组排列,小区面积 $63\ \text{m}^2$ (长 9 m,宽 7 m)。田间管理按当地高产栽培措施执行。

1.3 测定项目与方法

(1) 土壤水分含量:采用烘干法测定,全生育期每月初、月末分别测定 0~100 cm 土层土壤水分含量,0~30 cm 土层每 5 cm 取土样 1 次,30~100 cm 土层每 10 cm 取土样 1 次,3 次重复。

(2) 田间蒸发量(E):蒸发量用微型蒸渗仪(Micro-Lysimeter)测定,微型蒸渗仪内筒直径为 10 cm,深 10 cm,塑料薄膜封底,使用精度为 0.01 g 的电子天平(BL-3000)称重,每天称重 1 次,3 次重复,每 3 天换土 1 次。

(3) 作物产量(Y):作物收获时,全小区测产,3 次重复,取平均值。

(4) 作物耗水量(ET_a): ET_a 可根据农田水量平衡计算,即: $ET_a = \Delta W + P^{[8-9]}$, $\Delta W = SWS - SWH$, P 为降雨量(mm), ΔW 为土壤贮水变化量(mm), SWS 为播种时土壤贮水量(mm), SWH 为收获时土壤贮水量(mm)。

(5) 土壤保水度($SWSD$): $SWSD(\%) = -\Delta W \times 100 / SWS$ 。当 $SWSD$ 为正值时, $SWSD$ 越大,说明降雨对土壤水分的补给程度越高,土壤水分恢复程度越高,土壤的保水程度越高。当 $SWSD$ 为负值时, $SWSD$ 的绝对值越大,说明土壤水的耗用程度越高,土壤水剩余越少,土壤的保水程度越低, $-\Delta W$ 一定程度上可以反映土壤的保水水量。

(6) 蒸腾量(T)、蒸腾系数(RC)、耗水系数(CC)、水分利用效率(WUE):均可据田间水分指标进行运算获得^[10-11]。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖栽培措施下的农田土壤水分动态

从图 1 知,由于播种时(4 月 30 日)土壤刚刚经过漫长的旱季,4 个处理农田 0~100 cm 土层土壤水分普遍较为匮乏,均处于较低值;进入“旱三熟”作物生长期后,恰逢“雨热同季”的雨季,虽有作物生长的蒸腾耗水和田间蒸发耗水,但农田土壤水分含量却逐渐增加,到雨季末(9 月低、10 月初),农田土壤水分含量均达到作物生育期中的最大值,随后土壤水

分开始减少,且减少幅度越来越大,对后期作物的生长发育造成严重影响,但地表覆盖可有效抑制土壤水分的减少幅度,反映出“早三熟”农田土壤水分先增加后减少的动态特征。从不同土壤层次看,在“早三熟”作物整个生育期,0~30 cm 土层(作物根系主要分布的区域,简称根区)土壤水分含量变化幅度的平均值,处理 1(12.27%)>处理 2(10.84%)>处理 3(10.53%)>处理 4(9.88%);30~80 cm 土层变化幅度的平均值,处理 1(10.13%)>处理 2(8.31%)>处理 3(6.98%)>处理 4(6.72%);80~100 cm 土层变化幅度的平均值,处理 1(7.64%)>处理 2(6.80%)>处理 3(5.26%)>处理 4(5.07%);0~100 cm 土层变化幅度的平均值,处理 1(10.74%)>处理 2(9.24%)>处理 3(8.36%)>处理 4

(7.92%);总体上,“早三熟”农田土壤水分含量变化幅度处理 1>处理 2>处理 3>处理 4,各处理土壤水分含量变化幅度 0~30 cm>30~80 cm>80~100 cm 土层。可以看出,“早三熟”农田土壤水分含量变化有随干湿季节变化的特征,雨季是土壤水增加的主要时期,秸秆、地膜覆盖有明显增加和保存土壤水分的作用,且秸秆地膜二元覆盖的保蓄水作用更为显著,另外,随土层深度的增加,土壤水分含量变化幅度逐渐变小。据此,可将农田土壤水分含量变化沿土壤剖面划分为 3 个层次,即:0~30 cm 土层为农田土壤水分变化活跃层、30~80 cm 土层为农田土壤水分变化次活跃层、80~100 cm 土层(包括 100 cm 以下)为农田土壤水分变化相对稳定层。

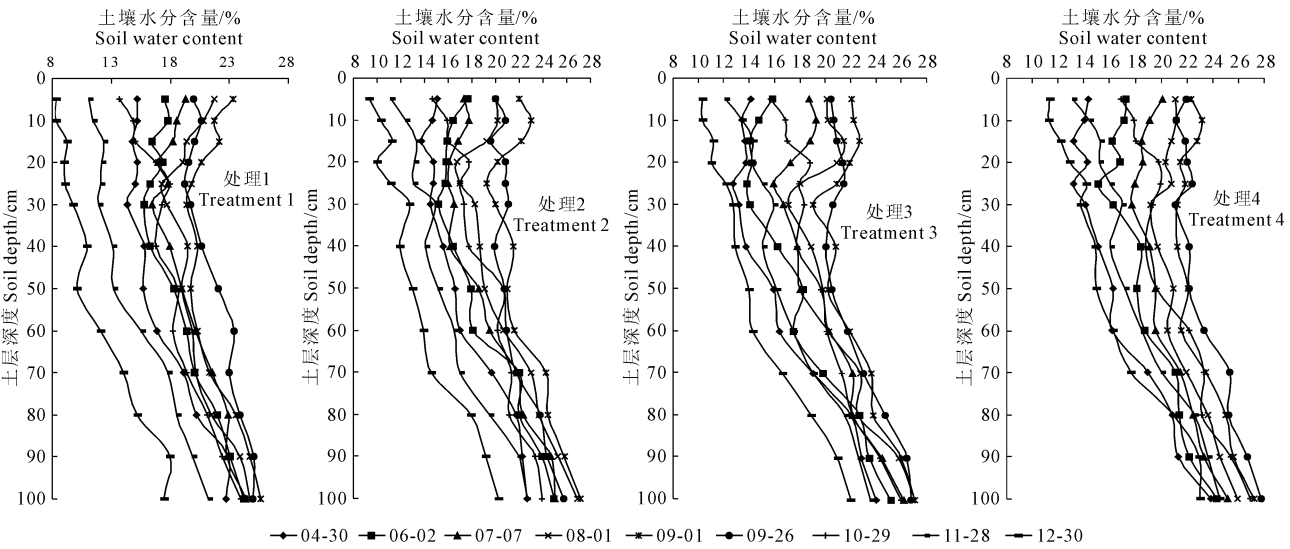


图 1 农田土壤水分含量动态特征
Fig.1 The dynamic features of soil water content

2.2 不同覆盖栽培措施下的农田土壤贮水动态

由图 2 和表 1 知,4 个处理的农田土壤贮水量均呈现先增加后减少的态势,雨季未达到最大值,受田间蒸散影响,末季作物收获时的土壤贮水量均比第一季作物播种时低,由于地表覆盖状况的差异,不同处理 0~100 cm 土层土壤贮水量减少情况为:处理 1(79.63 mm)>处理 2(53.87 mm)>处理 3(31.26 mm)>处理 4(8.49 mm)。其中,处理 1 的 0~30 cm 土层土壤贮水量减少值为 25.68 mm,占其总贮水量 32.25%,变化幅度为 52.03 mm;处理 2 减少值为 16.04 mm,占其总贮水量 29.78%,变化幅度 43.82 mm;处理 3 减少值为 9.33 mm,占其总贮水量 29.85%,变化幅度 43.38 mm;处理 4 减少值为 4.26 mm,占其总贮水量 50.18%,变化幅度为 40.69 mm。处理 1 的 30~80 cm 土层减少值为 38.47 mm,占其

总贮水量 48.31%,变化幅度为 76.76 mm;处理 2 减少值为 29.57 mm,占其总贮水量 54.89%,变化幅度 62.94 mm;处理 3 减少值为 15.83 mm,占其总贮水量 50.64%,变化幅度 50.95 mm;处理 4 减少值为 5.27 mm,占其总贮水量 62.07%,变化幅度 50.7 mm。处理 1 的 80~100 cm 土层减少值为 15.48 mm,占其总贮水量 19.44%,变化幅度为 22.82 mm;处理 2 减少值为 8.26 mm,占其总贮水量 15.33%,变化幅度 20.75 mm;处理 3 减少值为 6.1 mm,占其总贮水量 19.51%,变化幅度 15.57 mm;处理 4 减少值为 -1.04 mm,占其总贮水量 -12.25%,变化幅度 14.05 mm。可见,雨季是土壤贮水的关键期,但减少农田蒸发耗水格外重要,地表覆盖有抑制农田蒸发、增加土壤贮水的作用,秸秆地膜二元覆盖的贮水作用更为显著。从不同土层土壤贮水变化幅度来看,0

~ 30 cm 土层土壤贮水变化较明显,30 ~ 80 cm 土层土壤贮水变化显著,80 ~ 100 cm 土层土壤贮水变化缓慢;根区土壤贮水没有 30 ~ 80 cm 土层土壤储水变化显著,原因是根区是作物耗水与田间蒸发的主要土层,土壤贮水与第一季作物播种时相比变化不大,而 80 cm 以下的深层土壤贮水受地下水补给变

化迟缓。据此,可将“早三熟”农田土壤贮水变化沿土层划分为 3 个层次,即:0 ~ 30 cm 土层为农田土壤贮水变化明显层,30 ~ 80 cm 土层为农田土壤贮水变化显著层,80 ~ 100 cm 土层(包括 100 cm 以下)为农田土壤贮水变化缓慢层。

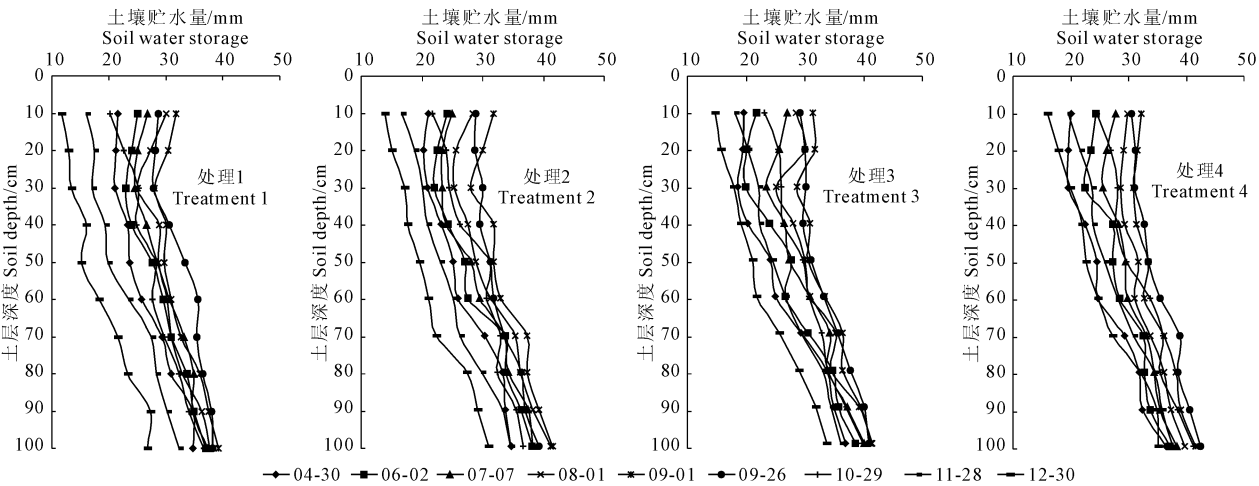


图 2 农田土壤贮水量动态特征

Fig.2 The dynamic features of soil water storage

2.3 不同覆盖栽培措施下农田土壤保蓄水程度

从|SWSD|的值可以看出(表 1),处理 1 的 0 ~ 30 cm 土层的土壤保蓄水程度为 40.20%,处理 2 为 25.81%,处理 3 为 16.21%,处理 4 为 8.91%;30 ~ 80 cm 土层的土壤保蓄水程度处理 1 为 28.91%,处理 2 为 21.48%,处理 3 为 11.99%,处理 4 为 3.21%;80 ~ 100 cm 土层的土壤保蓄水程度处理 1 为 22.26%,处理 2 为 12.07%,处理 3 为 8.52%,处理 4 为 1.51%;从 0 ~ 100 cm 土层看,处理 1 的土壤保蓄水程度为 29.88%,处理 2 为 20.08%,处理 3 为 11.96%,处理 4 为 3.25%。可见,0 ~ 30 cm 土层土壤水的保存蓄积程度最高,30 ~ 80 cm 土层次之,80 ~ 100 cm 土层最低,且随着地表覆盖效应的加强土壤保蓄水程度也逐渐增大。说明地表覆盖可有效增加土壤的保蓄水程度,尤以秸秆地膜二元覆盖最为显著,根区成为土壤保蓄水的关键区域,由于根区接近地表,土壤水分散失较快,若要增加土壤保蓄水的程度,就需要进一步扩库增容,即在增加地表覆盖的同时,疏松土层,改良土壤,使雨季有限的水分资源也能在深层土壤得到保蓄,从而为“早三熟”作物的生长发育奠定良好的水分基础。

2.4 不同覆盖栽培措施下的田间水分利用效果

从田间水分利用效果看(表 2、表 3),农田蒸发量处理 1 > 处理 2 > 处理 3 > 处理 4,农田蒸腾量处

理 1 < 处理 2 < 处理 3 < 处理 4,农田保蓄水量处理 1 < 处理 2 < 处理 3 < 处理 4,作物耗水量处理 1 > 处理 2 > 处理 3 > 处理 4,产值处理 1 < 处理 2 < 处理 3 < 处理 4,作物蒸腾系数处理 1 < 处理 2 < 处理 3 < 处理 4,作物耗水系数处理 1 > 处理 2 > 处理 3 > 处理 4,农田水分利用效率处理 1 < 处理 2 < 处理 3 < 处理 4。从农田蒸发量和蒸腾量占作物耗水量的比例来看,处理 1 分别占 65.92%和 34.08%,处理 2 分别占 39.56%和 60.44%,处理 3 分别占 23.26%和 76.74%,而处理 4 分别占 15.40%和 84.60%。可见,地表覆盖可有效减少田间水分的无效蒸发,有利于保存农田土壤贮水,且在提高作物产量的同时,作物的蒸腾系数和水分利用效率也明显提高,而作物的耗水系数却减小,说明秸秆、地膜覆盖尤其是秸秆地膜二元覆盖,可促使作物耗水量由田间无效蒸发耗水向有效的田间作物蒸腾耗水转化,农田水分的有效性显著提升。因此,在西南高原“早三熟”地区,应在控制农田土壤水分无效物理蒸发和农田径流非目标性输出的同时,进行农田节水、保水栽培措施,有效增加地表覆盖物,提高作物的蒸腾效率,降低作物的耗水系数,实施农田水分的时空富集,最大限度地保蓄仅有的农田水分资源,提高农田有限水分资源的利用效率,不断增进农田水分的生产潜力。

表 1 农田土壤保蓄水度

Table 1 The soil water reservation degree in farmland

土层深度/cm Soil depth	处理 Treatments	SWS /mm	SWH /mm	$-\triangle W$ /mm	SWSD /%	SWSD /%
0~30	1	63.88	38.20	-25.68	-40.20	40.20
	2	62.15	46.11	-16.04	-25.81	25.81
	3	57.56	48.23	-9.33	-16.21	16.21
	4	59.13	53.86	-5.27	-8.91	8.91
30~80	1	133.09	94.62	-38.47	-28.91	28.91
	2	137.69	108.12	-29.57	-21.48	21.48
	3	132.32	116.46	-15.86	-11.99	11.99
	4	132.86	128.60	-4.26	-3.21	3.21
80~100	1	69.54	54.06	-15.48	-22.26	22.26
	2	68.42	60.16	-8.26	-12.07	12.07
	3	71.60	65.50	-6.10	-8.52	8.52
	4	69.03	70.07	1.04	1.51	1.51
0~100	1	266.51	186.88	-79.63	-29.88	29.88
	2	268.26	214.39	-53.87	-20.08	20.08
	3	261.48	230.22	-31.26	-11.96	11.96
	4	261.02	252.53	-8.49	-3.25	3.25

表 2 农田作物经济产量及折算产量

Table 2 The crop yields and conversion in farmland

处理 Treatments	玉米 Maize /(kg·hm ⁻²)	黄豆 Soybean /(kg·hm ⁻²)	小麦 Wheat /(kg·hm ⁻²)	总折算产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	产值 Production value /(元·hm ⁻²)
1	3510.81 d	942.34 d	4501.34 d	8472.05 d	22959.26 d
2	3728.57 c	1071.09 c	4839.17 c	9162.54 c	24830.48 c
3	3918.19 b	1081.41 b	5288.39 b	9702.44 b	26293.61 b
4	4101.61 a	1089.22 a	5433.06 a	10006.43 a	27117.43 a

注:为了便于比较,根据当地价格比,将各处理黄豆、小麦的经济产量折算为玉米产量。玉米单价 2.71 元·kg⁻¹、黄豆单价 4.7 元·kg⁻¹、小麦单价 2.00 元·kg⁻¹;表列中字母不同表示在 0.05 水平具有显著性差异。下同。

Note: For comparison, according to local price ratio, the soybean and wheat yields can be converted into maize yield. Different letters indicate significance level of $P < 0.05$. The same below.

表 3 田间水分利用效果指标

Table 3 The effect of water use indexes in farmland

处理 Treatments	E /mm	T /mm	$\triangle W$ /mm	ET_a /mm	Y /(kg·hm ⁻²)	RC /(mm·kg ⁻¹ · hm ⁻²)	CC /(mm·kg ⁻¹ · hm ⁻²)	WUE /(kg·mm ⁻¹ · hm ⁻²)
1	265.42 d	352.99 d	79.63 d	618.41 d	8472.05 d	0.042 c	0.073 a	13.70 d
2	139.63 c	453.02 c	53.87 c	592.65 c	9162.54 c	0.049 ab	0.065 a	15.46 c
3	81.29 b	488.75 b	31.26 b	570.04 b	9702.44 b	0.050 b	0.059 a	17.02 b
4	29.55 a	517.72 a	8.49 a	547.27 a	10006.43 a	0.052 a	0.055 a	18.28 a

3 讨论与结论

3.1 讨论

覆盖栽培具有明显保蓄土壤水分的效果,这在我国南、北方地区有大量的研究证据,在西南旱区的研究较少^[1-4],而在西南高原旱区研究覆盖条件下多熟种植模式农田的土壤水分动态还鲜有报道。针

对高原旱区生态脆弱性的特点,仅有的研究主要集中在不同类型林地、草地的土壤水分动态上,表明不同的整地、覆盖等措施有增加土壤水分的作用,且土壤水分随土层深度增加而增大^[12-15],雨季土壤水分明显高于旱季^[13,16],土壤水分的来源主要靠雨季降雨。故出现雨季植被生长良好,旱季土壤干旱,生态缺水严重,甚至造成植被枯死。因此,调控土壤水

分的利用时间显得尤为迫切,这就要求在土壤中保蓄雨季充分的水分资源,使其在深层土壤得到保蓄,为旱季植被生长提供较为良好的水分基础,农田作物的生长更是如此^[8];另外一些研究也表明在西南高原旱区土壤水分的利用与变化具有层次性的特征,地表覆盖可以影响土壤水分的层次变化及其运动规律^[16-19]。研究对象、试验地、研究时间等不同研究结果各有差异,但总体上,土壤水分变化均表现为随土层深度增加土壤含水量变化越来越小。原因是随土层深度增加,土壤水分受地表与植物影响越来越小,其变化也越来越小,而土壤贮水量越来越大。本文土壤贮水量层次变化的主要原因是,根区是农田作物耗水与田间蒸发的主要土层,土壤贮水与第一季作物播种时相比变化不大,而 80 cm 以下的深层土壤贮水受地下水补给变化迟缓,故出现文中的变化特点。

3.2 结论

在西南高原季节性旱区进行“早三熟”覆盖栽培,应重视雨季蓄水与旱季保水,覆盖可有效增加土壤保蓄水量,尤以秸秆地膜二元覆盖最为显著,根区成为土壤保蓄水的关键区域,由于根区接近地表,土壤水分散失较快,若要进一步增加土壤保蓄水量,就要扩库增容,即在增加地表覆盖的同时,疏松土层,改良土壤,使雨季有限的水分资源能在深层土壤得到保蓄,从而为“早三熟”作物的生长发育奠定良好的水分基础。同时,地表覆盖可有效减少田间水分的无效蒸发,使农田土壤贮水保留量增加,作物蒸腾系数和水分利用效率明显提高,而使作物耗水系数减小,说明秸秆、地膜覆盖尤其是秸秆地膜二元覆盖,可促使作物耗水量由田间无效蒸发耗水向有效的田间作物蒸腾耗水转化,促使农田水分的有效性显著提升。此外,“早三熟”农田土壤水分含量变化沿土层可划分为 3 个层次,即:0~30 cm 土层为农田土壤水分变化活跃层、30~80 cm 土层为农田土壤水分变化次活跃层、80~100 cm 土层(包括 100 cm 以下)为农田土壤水分变化相对稳定层。农田土壤贮水变化沿土层也可划分为 3 个层次,即:0~30 cm 土层为农田土壤贮水变化明显层,30~80 cm 土层为农田土壤贮水变化显著层,80~100 cm 土层(包括 100 cm 以下)为农田土壤贮水变化缓慢层。

因此,在西南高原季节性旱区进行旱地农业生产,应在控制农田土壤水分无效物理蒸发和农田径流非目标性输出的同时,进行农田节水、保水栽培,有效增加地表覆盖物,提高农田作物的蒸腾效率,实施农田水分的时空富集,最大限度地保蓄仅有的农

田水分资源,提高农田有限水分资源的利用效率,不断增进农田水分的生产潜力和复种指数,才是解决西南高原季节性旱区旱作农田干旱缺水和产量低下的根本途径。

参考文献:

- [1] 王龙昌,谢小玉,张 臻,等.论西南季节性干旱区节水型农作制度的构建[J].西南大学学报(自然科学版),2010,32(2):1-6.
- [2] 张 臻.西南季节性干旱区农业资源与环境要素数据库设计与应用[D].重庆:西南大学,2011.
- [3] 赵永敢.西南地区资源节约型农作制模式研究[D].重庆:西南大学,2011.
- [4] 王龙昌,邹聪明,张云兰,等.西南“早三熟”地区不同保护性耕作措施对农田土壤生态效应及生产效益的影响[J].作物学报,2013,39(10):1880-1890.
- [5] 米艳华,陆 琳,陈艺齐,等.干热河谷区农业种植模式的资源利用率研究[J].西南农业学报,2011,24(1):61-67.
- [6] 张建平,王道杰,杨 忠,等.元谋干热河谷区森林消长与生态环境变化研究[J].中国沙漠,2001,21(1):79-85.
- [7] 杨艳鲜,纪中华,沙毓沧,等.元谋干热河谷区旱坡地生态农业模式的水土保持效益研究[J].水土保持学报,2006,20(3):70-75.
- [8] 胡兵辉,王 维,张红芳.干热河谷旱地覆盖间作两熟种植模式的水分效应[J].水土保持学报,2015,29(1):274-278.
- [9] 胡兵辉,廖允成,王克勤,等.毛乌素沙地农田土壤水分的时空变化格局[J].水土保持通报,2011,31(5):144-148.
- [10] 熊晓锐,廖允成,高茂盛,等.黄土高原东南部旱作农田一年二熟种植模式水分效应初探—以杨凌为例[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):44-49.
- [11] 李 露,杨 玲,廖允成,等.黄土高原半湿润区旱地一年两熟复种模式土壤水分效应[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):145-151.
- [12] GUO Fen-fen, Nan Ling, CHEN An-qiang, et al. Influence of vegetation coverage on surface runoff and soil moisture in rainy season in dry-hot valley [J]. Agricultural science and technology, 2010, 11(4):138-143.
- [13] 穆 军,李占斌,李 鹏,等.干热河谷干季土壤水分动态研究[J].长江科学院学报,2009,26(12):22-25.
- [14] 李艳梅,王克勤,刘芝芹,等.云南干热河谷不同坡面整地方式对土壤水分环境的影响[J].水土保持学报,2006,20(1):15-19.
- [15] 杨艳鲜,方海东,潘志贤,等.云南元谋干热河谷区旱坡地不同生态农业模式土壤水分差异性分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):248-252.
- [16] 赵元蛟,孙文华,张光飞,等.云南元谋干热河谷土壤水分季节动态[J].安徽农业科学,2013,41(8):3593-3594.
- [17] 孙 辉,唐 亚,赵其国,等.干旱河谷区坡耕地等高植物篱种植系统土壤水分动态研究[J].水土保持学报,2002,16(1):84-103.
- [18] 岳学文,方海东,钱坤建,等.金沙江干热河谷不同土地利用方式的土壤水分特征[J].安徽农业科学,2010,38(27):14963-14965.
- [19] 张明忠,朱红业,张映琴,等.云南干热河谷旱坡地两种覆盖措施对土壤水分的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):37-40.