

覆被对桔园旱季土壤水分变化和利用的影响

胡 实^{1,3}, 谢小立^{1,*}, 王凯荣^{1,2}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; 2. 青岛农业大学农业生态与环境健康研究所, 山东 青岛 266109;
3. 中国科学院研究生院)

摘要: 稻草覆盖和自然覆被是解决红壤丘陵区季节性干旱的有效措施。2005~2006 年在桃源农业生态试验站进行了稻草覆盖和自然覆被对桔园降雨入渗、土壤蒸发、土壤水分调控和利用结构影响的研究, 结果表明: 稻草覆盖和自然覆被更有利于雨水的储存和向深层入渗, 雨后 48h 分别比裸地土壤储水增量多 3.33mm 和 1.33mm, 降雨入渗深度分别为 40cm 和 80cm。此外, 稻草覆盖和自然覆被分别抑制了 69.10% 和 36.53% 的土壤蒸发, 其蒸发抑制作用在午间高温时段表现尤为明显, 使得更多的水分以植物蒸腾(稻草覆盖 15.71%、自然覆被 7.30%) 和土壤蓄留的方式支出, 并且分别降低了 20.55mm(稻草覆盖) 和 14.33mm(自然覆被) 的水分支出。覆被下土壤水分结构发生明显改变, 0~20cm 土层受外界条件影响较大, 土壤水分变异系数较大, 自然覆被由于覆盖的植被消耗表层水分, 水分亏缺较大, 平均含水量为稻草覆盖 > 裸地 > 自然覆被; 20~80cm 土壤水分变异减小, 平均含水量稻草覆盖 > 自然覆被 > 裸地; 120~160cm 深土层中, 自然覆被下土壤水分得不到补给, 变异系数增大, 稻草覆盖和裸地水分变化稳定, 平均含水量稻草覆盖 > 裸地 > 自然覆被。

关键词: 稻草覆盖; 自然覆被; 土壤含水量; 土壤蒸发; 水量平衡

文章编号: 1000-0933(2009)02-0976-08 中图分类号: Q142, Q154.1, S718.5 文献标识码: A

Effects of straw mulching and sodding culture on soil water use and variation in citrus orchard in dry season

HU Shi^{1,3}, XIE Xiao-Li^{1,*}, WANG Kai-Rong^{1,2}

1 Institute of Subtropical Agriculture, CAS, Changsha, Hunan 410125, China

2 Institute of Agriculture Ecological and Environmental Health, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong, 266109, China

3 Graduate School of CAS, Beijing 100049, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0976~0983.

Abstract: Straw mulching and sodding culture are two kinds of effective measures to solve the problem of the seasonal drought in red soil region. An experiment of straw mulching and sodding culture impacting rainfall infiltration, soil evaporation and soil water regulation was conducted from 2005 to 2006 in Taoyuan experimental station (111°30'E, 28°55'N), which located in Hunan province. Results showed that straw mulching and sodding culture could increase rainfall infiltration and soil water storage. The infiltration depth was 40cm for straw mulching but 80cm for sodding culture in 48h since rainfall. Compared with no-mulching, the increment of water storage was 3.33mm for mulching and 1.33mm for sodding culture. These two measures also resulted in the reduction of soil evaporation of 69.10% and 36.53%, respectively. This effect was more obvious at midday under high temperature. The plant evaporation increased by 15.66% and 7.26% while soil water consumption reduced by 20.55 mm and 4.33mm for straw mulching and sodding culture, respectively, in the whole drought season. The vertical distribution of soil water also changed obviously. Soil layer 0~20cm was greatly impacted by the outside conditions and had greater coefficient of variance (Cv) than the sub-layer. The greater water was consumed the more significant water shortage was showed in surface soil under sodding culture. The order

基金项目: 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX3-SW-441)

收稿日期: 2007-08-23; 修订日期: 2008-05-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xlx@isa.ac.cn

of the average moisture in soil layer 0—20cm was: straw mulching > no mulching treatment > sodding culture. The variance of soil water in the layer of 20—80cm was reduced and the order was: straw mulching > sodding culture > no mulching treatment. The Cv in the deep layer of 120—160cm under sodding culture increased due to lacking sufficient water replenishment. However, soil water conditions in the other two treatments became more stable in the deep layer. The average values of soil moisture changed in the following order: straw mulching > no mulching treatment > sodding culture.

Key Words: straw mulching; sodding culture; soil moisture; soil evaporation; water balance

覆盖是一种古老的蓄水保墒农业措施,其方式有很多种,秸秆覆盖和自然覆被是其中运用较为广泛的两种。近年来关于秸秆覆盖保墒的研究方法、效果及其机理,国内外许多专家学者做了大量的研究工作,一致认为其具有调节土壤水、肥、气、热,减少多余焚烧对环境污染等多方面的生态功能和生态效益^[1~3],丰富的稻草秸秆资源^[4]更使这种经济有效的调节方式在南方广泛使用;而自然覆被由于能够有效的蓄水保墒,缓解干旱和为植物提供有机绿肥^[5],加之其省时省力,近年来的使用也颇为广泛。

我国南方红壤丘陵农业生态区 50% 以上的土地为低丘岗坡地类型,该区水热资源丰富,生产潜力高,但是由于雨水在时间和空间上的分配不均,6~9 月份高温少雨,季节性干旱危害成为该区坡地农业可持续发展的主要障碍因素^[6~8]。基于上述问题,目前已经提出工程措施,耕作措施等多种解决方案,但是由于经济状况和地形的复杂性,水利设施难以在该地区修建发挥作用,因此长期以来如何在干旱季节有效的保留与利用降雨便成为丘岗旱地农业的首要问题。为了农业的可持续发展和丘岗区生态环境的需要,本试验以红壤旱地桔园为研究对象,以有效保留与利用降雨为出发点,针对不同覆被方式下雨水的利用,重点探讨了农业旱季稻草覆盖和自然覆被对降雨入渗及保蓄,土壤蒸发和土壤水分供应的动态调控效果及水量平衡,企图认识干旱季节的水分运动规律,以寻找合适的亚热带丘陵区季节性干旱防御技术体系,索求红壤丘陵区生态环境需水理论和生态补水机制。

1 研究区基本概况及研究方法

1.1 研究区基本概况

试验在中国科学院桃源农业生态试验站农田生态系统综合观测试验场进行。试验场位于湖南省桃源县漳江镇宝洞峪村(111°30'E, 28°55'N),年均气温 16.5℃,年降雨量 1440 mm,土壤类型为第四纪红土发育的红壤。于 2005 年 7~9 月和 2006 年 6~8 月进行试验观测。试验设为无覆被(T₁)、自然植被(T₂)、稻草覆盖(T₃)3 个处理,每种处理设置 3 个重复,其中无覆被处理为平地表面除掉小区内杂草,移出小区外,即保证试验期间小区内既无杂草生长,也无任何覆盖;自然植被为保持杂草生长,但试验期间草高不能超过 50cm,超过 50cm 的部分需要修剪掉,修剪掉的杂草保留在小区内;稻草覆盖为稻草整株覆盖,覆盖量每年为 4000 kg/hm²(干草重)。在所有的处理开始前,将所有小区中的野草平地表面除掉,并移出小区外。每小区内包含大小、高度较一致的桔树 4 株。每个小区面积为 5m×5m。

1.2 研究方法

1.2.1 桔园生态系统的水量平衡方程

根据田间土壤水分平衡方程推导出桔园生态系统的水量平衡方程。田间土壤水分平衡方程为^[9]:

$$\Delta W = P + I + U - E - T - R - D - IN \quad (1)$$

式中, ΔW 表示计算时段末与时段初土体储水量之差(mm), P 表示计算时段内的降雨量(mm), I 表示计算时段内的灌溉量(mm), U 表示计算时段内上行水总量(mm), E 表示计算时段内土面蒸发量(mm), T 表示计算时段内植物叶面蒸腾量(mm), R 表示计算时段内地面径流量(mm), IN 表示计算时段内的植物冠层截留量(mm), D 表示计算时段内下渗水量(mm)。对于桔园生态系统而言,植物冠层截留没有下降到土壤就直接从植冠上蒸发掉了,所以可以将土面蒸发量、植物冠层截留量和植物叶面蒸腾量统称为蒸散量 ET ;由于试验

小区 160cm 以下为石质的隔水层,所以在 160cm 的土体范围以内,上行水量和下渗水量可以忽略,即 $U=0$, $D=0$;而且坡地没有灌溉,即 $I=0$;则桔园生态系统的水量平衡方程可以简化为:

$$\Delta W = P - ET - R \quad (2)$$

式中, P 通过试验场气象园(Milos520 气象自动站)获得; R 通过实测获得,具体见下述; ΔW 可通过计算获得,计算方法见下述。

1.2.2 径流的测定

每个小区均为一标准径流观测场,小区四周用地上 30cm、地下 50cm 的钢筋混凝土板围隔,外方建导流沟,沟深 10~20cm,向一边倾斜,其下方建有沉沙池 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$ 、标准池 $3\text{m} \times 3\text{m} \times 1\text{m}$ (钢筋混凝土现浇)等集水测流设施。每次降雨后观测记录小区径流状况。由于处于农业旱季且小区地势平坦,在试验期间没有观测到任何径流,故 $R=0$,方程(2)可改写为:

$$\Delta W = P - ET \quad (3)$$

故 ET 可以通过方程(3)求得。

1.2.3 储水变化量的计算

土壤储水量 $W(\text{mm}) = \sum(\Delta\theta_i \times Z_i)$ 。式中 $\Delta\theta_i$ 为土壤某一层体积含水量, Z_i 为土壤层次厚度(mm), i 为土壤层次。土壤储水变化量 $\Delta W(\text{mm}) = W_{t1} - W_{t2}$, W_{t1} 、 W_{t2} 分别为具体某一时间的土壤储水量。

土壤体积含水量用中子仪测定,测定深度为 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160cm 8 个层次,2005 年每天测量 1 次,2006 年每隔 5d 测量 1 次,其中 0~20cm 用土钻法进行矫正。

1.2.4 土壤蒸发量的测定

用自制的小型蒸渗仪(Micro-Lysimeter)(直径 10cm、高 15cm 的 PVC 管制成,表面积 78.5cm^2)进行观测。常规观测为 6:00 田间取原状土用塑料袋封底,用感量为 0.1g 的电子天平称质量,然后置于田间,18:00 称量总土壤质量,次日早上再称量总土壤质量,其质量损失即为该时段的土壤蒸发量,每 0.1g 的变化相当于 0.0127mm 的蒸发量。每隔 2~3d 换土,雨后要及时换土,测量 2006 年 6~8 月每天的土壤蒸发量。

对土壤蒸发的日变化测定以 4d 为一个单位,在这 4d 中连续 2d 不间断观测土壤蒸发的日变化,即连续 48h 每隔 3h 一次不间断观测,如果在连续观测的 2d 当中遇到下雨,则此次观测无效,从雨后再重新开始新的观测。

1.2.5 资料统计与分析

试验数据采用 Excel 软件绘图,用 Dps 软件统计分析(Duncan 新复极差法)

2 结果与分析

2.1 降雨分配和土壤含水量变化特征

在试验观测期间,2005 年全年降雨 1490.6mm,其中 7~9 月份共降雨 333.2mm,占全年降雨量的 22.35%;2006 年全年降雨 1395.6mm,其中 6~8 月共降雨 467.8mm,占全年的 33.52%。根据试验站区(桃源县)1961~2000 年年均降雨量为 1475.1mm 可知,2005 年和 2006 年均为平雨年。关于本区的土壤含水率变化规律,已有研究表明^[10],周年土壤水分变化情况可划分为 3 个时期:一是土壤水分饱和期,一般出现在春季;二是土壤水分亏缺期,一般出现在夏秋季,由于强烈的大气蒸发作用,土体上层迅速失水,造成上层土壤水分亏缺而下层仍有较高的含水量;三是土壤水分补充恢复期,一般出现在冬季。

2.2 不同覆盖方式对降雨入渗及土壤水分含量的影响

雨水是桔园生态系统唯一外来补给水源,最大程度的将雨水贮蓄在土壤中供植物利用对抵御干旱尤为重要。表 1 给出了 2005 年 7 月 25 日的一场 18.2mm 的降雨后不同覆被方式下土壤对雨水资源入渗储存效率的比较。

雨后 24h,降雨对裸地、自然覆被和稻草覆盖土壤含水量的影响深度分别为 20、40cm 和 60cm,0~20cm 裸地与自然覆被下的土壤储水量增量无显著差异,均显著低于稻草覆盖,20~40cm 稻草覆盖下的储水量增量

显著大于自然覆被,自然覆被显著大于裸地;雨后 48h,降雨对裸地、自然覆被和稻草覆盖土壤含水量的影响深度分别为 20、40cm 和 80cm,0~20cm 稻草覆盖与自然覆被下的储水量增量无显著差异,均显著大于裸地,20~40cm 稻草覆盖下的储水量增量显著大于自然覆被,自然覆被显著大于裸地。雨后 48h 各覆盖方式下储水量增量总量稻草覆盖 > 自然覆被 > 裸地,经方差分析各处理间差异极显著,说明稻草覆盖更有利于雨水向深层入渗,并且可以提高雨水的储存量,有研究表明稻草覆盖改变了土壤的容重及总孔隙度^[11]从而增强了雨水的入渗。

表 1 降雨后不同覆盖下不同土层土壤贮水量增量

Table 1 The increment of soil water storage in different soil layers under different treatments after rainfall (mm)

时间 Time	处理 Treatment	0~20cm	20~40cm	40~60cm	60~80cm	80~160cm	总计 Total
总计雨后 24h	T ₁	2.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00	2.00a
24h after rainfall	T ₂	2.00a	0.67b	0.00a	0.00a	0.00	2.67a
	T ₃	1.67b	1.33c	0.67b	0.00a	0.00	3.67b
雨后 48h	T ₁	0.67a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00	0.67a
48h after rainfall	T ₂	1.33b	0.67b	0.00a	0.00a	0.00	2.00b
	T ₃	1.30b	1.30c	1.00b	0.33b	0.00	3.93c

相同字母表示无显著性差异 Values in each line with the same letter are not significantly different among different treatments ($p < 0.01$)

2.3 不同覆盖方式对土壤蒸发及植物蒸腾的影响

利用农田水量平衡方程计算出植物蒸腾,其结果见表 2。结果显示试验期间,植物蒸腾量稻草覆盖 > 自然覆被 > 裸地,各处理间并无显著差异。土壤总蒸发量为稻草覆盖(32.27mm) < 自然覆被(66.29mm) < 裸地(104.45mm),经方差分析和 Duncan 多重比较发现,稻草覆盖和自然覆被下的土壤蒸发极显著低于裸地,稻草覆盖又极显著低于自然覆被,说明稻草覆盖和自然覆被对土壤蒸发均有明显抑制作用,土壤蒸发抑制率分别为 69.10% 和 36.53%,其中稻草覆盖的效果最好。为了进一步研究覆盖对土壤蒸发的抑制作用,于 6 月 22~23 日对 3 种处理的土壤蒸发进行了连续 48h 的观测,其结果见图 2。结果显示裸地和自然覆被在 12:00~15:00 之间出现明显的蒸发量峰值,而稻草覆盖下日变化比较平缓,没有明显的蒸发峰值,说明稻草覆盖主要是抑制了日间高温时段的强烈土壤蒸发,使得全天的土壤蒸发趋于缓和且保持在一个较低的水平,从而达到降低总土壤蒸发量的目的。

表 2 不同覆盖方式下 E、T、ET 的变化

Table 2 Variation of E、T、ET under different treatments

处理 Treatment	P (mm)	E (mm)	T (mm)	ET (mm)	ΔE (%)	ΔT (%)	AVR (mm)
T ₁	467.8	104.45a	390.83a	495.28a	21.09	78.91	0.2457
T ₂	467.8	66.29b	413.25a	479.44a	13.83	86.17	0.1559
T ₃	467.8	32.27c	440.30a	465.57a	5.43	94.57	0.0759

P、E、T、ET、 ΔE 、 ΔT 、AVR、 ΔPT 分别代表降雨量、土壤蒸发量、植物蒸腾量、蒸散量、土壤蒸发量占蒸散量的比例、植物蒸腾量占蒸散量的比例、土壤日平均蒸发量;相同字母表示无显著性差异 P、E、T、ET、 ΔE 、 ΔT 、AVR、 ΔPT present rainfall、soil evaporation、plant transpiration、evapotranspiration、the ration of soil evaporation to evapotranspiration、the ration of plant transpiration to evapotranspiration、mean daily soil evaporation. Values in each line with the same letter are not significantly different among different treatments ($p < 0.01$)

2.4 不同覆被方式对土壤剖面水分变化的影响和调控

不同的覆被方式下土壤含水量从表层到深层均表现为增长型(表 3),但土壤水分变异系数的变化趋势不同。裸地的土壤水分变异系数从表层到深层不断减小,土壤水分稳定性增强;自然覆被下,0~120cm 土层变异系数逐渐减小,120~160cm 土层中变异系数增大;稻草覆盖条件下,变异系数从表层到深层逐渐下降,但是在 40~80cm 土层有小幅度的上升。结合各层对应的标准差(S)和变异系数(CV),根据红壤土壤剖面分层划分标准^[12],即:(1)活跃层, $S > 0.024$, $CV > 8.1\%$;(2)次活跃层, $0.024 > S > 0.017$, $8.1\% > CV > 5.4\%$;(3)

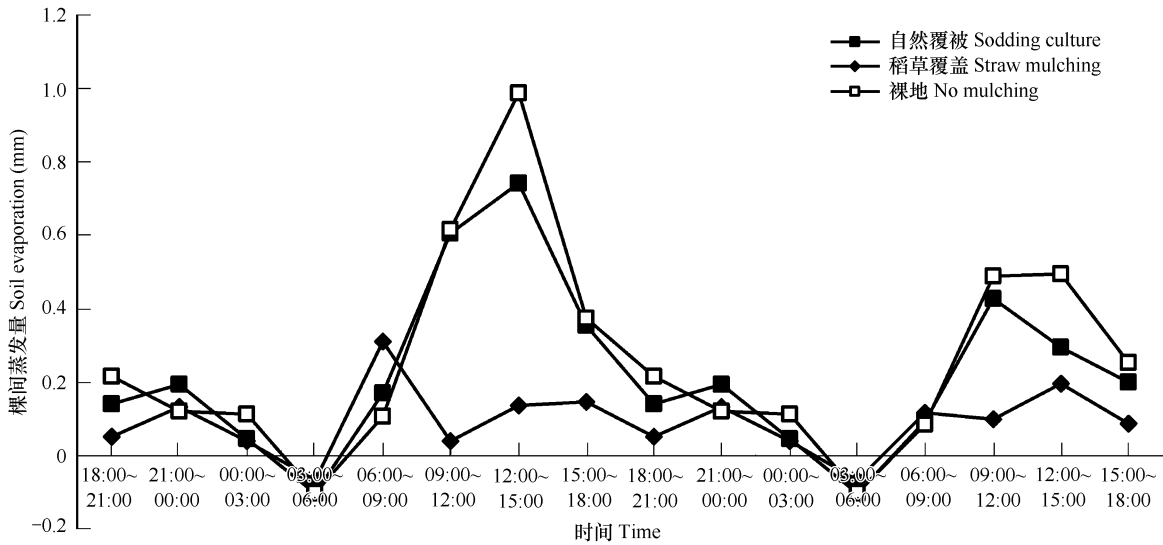


图1 棵间蒸发日变化

Fig. 1 Diurnal pattern of soil evaporation under different treatments

相对稳定层, $S < 0.017$, $CV < 5.4\%$ 。当标准差和变异系数不能同时满足分级标准时,以变异系数为准。对桔园不同覆盖方式下的旱季土壤水分进行垂直分层见表 2, 2a 的变化趋势相同:裸地可划分次活跃层(0 ~ 20cm)和相对稳定层(20 ~ 160cm);自然覆被划分为次活跃层(0 ~ 120cm)和相对稳定层(120 ~ 160cm);稻草覆盖只有一层,相对稳定层(0 ~ 160cm)。

表3 干旱季节土壤水分垂直分层

Table 3 Profile distribution of soil water in the dry season

年份 Year	降雨量 (mm) Rainfall	处理 Treatment	土层 (cm) Soil layer	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	活跃等级 Activity grade
2005	333.2	T1	0 ~ 20	0.022	6.43	次活跃 Sub-active
			20 ~ 160	0.003 ~ 0.007	1.04 ~ 1.96	相对稳定 Relatively steady
		T2	0 ~ 120	0.004 ~ 0.012	0.96 ~ 3.38	相对稳定 Relatively steady
			120 ~ 160	0.023	5.88 ~ 5.94	次活跃 Sub-active
		T3	0 ~ 160	0.004 ~ 0.012	0.97 ~ 3.38	相对稳定 Relatively steady
2006	467.8	T1	0 ~ 20	0.021	5.82	次活跃 Sub-active
			20 ~ 160	0.014 ~ 0.016	3.69 ~ 4.42	相对稳定 Relatively steady
		T2	0 ~ 120	0.009 ~ 0.019	2.53 ~ 5.05	相对稳定 Relatively steady
			120 ~ 160	0.023	5.88 ~ 5.94	次活跃 Sub-active
		T3	0 ~ 160	0.004 ~ 0.008	1.09 ~ 2.07	相对稳定 Relatively steady

对各层次土壤水分的进一步分析发现(表 4), 0 ~ 20cm 平均含水量为稻草覆盖 > 裸地 > 自然覆被。经方差分析和 Duncan 多重比较, 稻草覆盖与自然覆被、裸地之间存在极显著差异, 自然覆被与裸地之间不存在显著差异, 说明稻草覆盖通过降低土壤蒸发有效的保蓄表层土壤水分; 自然覆被条件下, 由于用于覆盖的植被为矮小的草本植物, 其根系多分布于 0 ~ 20cm 土层, 在该土层中吸收了大量水分用于自身的生长需要, 从而导致了自然覆被下该土层含水量的下降, 但是该层不是桔树根系的主要吸水层, 所以对桔树的生长影响不大。20 ~ 80cm 土层平均含水量为稻草覆盖 > 自然覆被 > 裸地, 经过方差分析和 Duncan 多重比较, 稻草覆盖下土壤含水量极显著高于自然覆被和裸地, 自然覆被与裸地差异不显著, 这主要是由于稻草覆盖提高了降雨的入渗^[13], 降低了土壤蒸发^[14], 从而保证了桔树主要根系层的含水量, 也使得该层次土壤水分变异系数降低。深

层土壤(160cm)平均含水量稻草覆盖 > 裸地 > 自然覆被,经过方差分析与 Duncan 多重比较,裸地与自然覆被、稻草覆盖均不存在显著差异,稻草覆盖与自然覆被存在极显著差异,产生这种现象的原因除了稻草覆盖与自然覆被下桔树的根系分布较深,植株的蒸腾作用旺盛,消耗深层的土壤水分较多和自然覆被和稻草覆盖能有效的将深层土壤水分提升到上层^[5]之外,还有一个重要的原因就是稻草覆盖能够使得有限的降雨向土壤深层运动,从而补给了深层土壤水分的消耗,而自然覆被下,降雨大多在土壤表层及中层就被土壤蒸发和植物蒸腾所消耗,所以不能补给深层土壤,导致了稻草覆盖的深层土壤含水量显著高于自然覆被,也使得自然覆被下深层土壤水分变异系数迅速增大。

表 4 不同处理不同土层土壤含水量(%)及 Duncan's 多重比较

Table 4 Soil moisture in 160cm soil profile under different treatments and Duncan's multiple comparisons

年份 Year	月份 Month	0 ~ 20cm			20 ~ 80cm			80 ~ 160cm		
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
2005	7月上旬 The first ten-day of July	35.33	35.33	36.08	37.00	37.25	37.83	38.37	37.88	38.37
	7月中旬 The middle ten-day of July	35.13	34.87	36.08	37.26	37.44	38.00	38.30	37.80	38.13
	7月下旬 The last ten-day of July	34.33	34.61	35.72	37.33	37.56	38.01	38.20	37.83	38.50
	8月上旬 The first ten-day of August	32.99	32.76	34.09	37.07	37.05	37.65	37.96	37.73	38.23
	8月中旬 The middle ten-day of August	33.72	33.61	34.19	37.11	37.03	37.69	37.91	37.54	38.12
	8月下旬 The last ten-day of August	34.75	34.57	35.36	37.51	37.72	38.27	38.36	37.72	38.45
	9月上旬 The first ten-day of September	34.75	34.78	35.41	37.55	37.80	38.30	38.29	37.87	38.41
2006	6月上旬 The first ten-day of June	36.50	36.50	36.00	38.00	38.00	37.00	38.50	38.50	38.00
	6月中旬 The middle ten-day of June	35.00	36.00	35.80	37.00	37.21	37.20	38.50	37.50	38.00
	6月下旬 The last ten-day of June	34.88	35.44	35.72	36.49	37.42	37.62	37.46	37.63	38.02
	7月上旬 The first ten-day of July	34.40	35.13	35.55	37.12	37.98	38.19	38.27	38.19	38.77
	7月中旬 The middle ten-day of July	35.85	36.60	36.78	37.11	37.89	38.37	38.28	38.63	38.59
	7月下旬 The last ten-day of July	34.92	35.64	36.01	36.55	37.68	38.14	38.23	38.42	38.80
	8月上旬 The first ten-day of August	37.32	37.29	40.13	39.09	38.68	41.72	40.65	41.24	39.98
	8月中旬 The middle ten-day of August	35.99	35.81	34.96	37.56	37.23	36.19	37.84	37.86	38.20
	8月下旬 The last ten-day of August	35.37	35.38	34.48	37.51	36.81	35.97	37.61	37.56	37.89
	均值 Mean	34.51	34.50	35.25	37.31	37.45	37.94	38.10	37.76	38.40
5%	b	b	a	b	b	a	c	b	a	
1%	B	B	A	B	B	A	AB	B	A	

相同字母表示无显著性差异 Values in each line with the same letter are not significantly (Duncan's) different among different treatments

2.5 不同覆被方式对水分利用结构的影响

水量平衡是通过对水分的收入和支出系统进行定量分析总体研究降水在植被中再分配状况规律。系统的蒸散输出和降雨输入并不是总相等的,有时候蒸散量大于降雨量,有时候蒸散量小于降雨量,而这部分剩余水量的去向和超支水量的来源便是系统蓄水的变化,主要是土壤系统。在降雨量很大时,系统贮留了一部分水分;降雨量很小时,系统又释放部分水分以补给支出。当土壤蓄水为增量时,增加的水量来源于大气降水,这部分水量将用于补给,是支出项;若为减量时,系统失水,这部分水量又需要补给,是收入项,是应收入的水量^[15]。本试验以 2006 年 6 ~ 8 月为例,将系统蓄水的收支分开来计算,可得到表 5 的水量平衡关系,结合表 2 便可得出不同覆被方式下水分利用结构的变化。

从表 5 可以看出 6 ~ 8 月份桔园不同覆被下水量的总输入是不同的,稻草覆盖 < 自然覆被 < 无覆被,在降雨量一定的条件下,这种总输入的增量是由土壤提供,说明在土壤最大蓄水量一定的前提下,无覆被的土地更容易受旱。此外,除稻草覆盖下的实际支出水量小于实际输入水量外,自然覆被和裸地的实际支出水量均大于实际收入水量,说明在干旱季节中,稻草覆盖下降雨可以保证植物的正常水分代谢而无需额外从土壤系统中获取水分。与裸地相比,稻草覆被和自然覆被分别可以降低 20.55mm 和 14.33mm 的水分支出。结合表 2

和表4,不同覆被下水分支出的比例也不一样,无覆被处理总水量支出为497.01mm,其中1.73mm(0.35%)的水分蓄留于土壤之中,390.83mm(78.64%)通过植物蒸腾到达大气,104.45mm(21.01%)通过土壤蒸发到达大气;自然植被总支出水量为482.68mm,其中3.24mm(0.67%)蓄留于土壤中,413.25mm(85.62%)通过植物蒸腾到达大气,66.29mm(13.71%)通过土壤蒸发到达大气;稻草覆盖总水量支出476.46mm,其中10.89mm(2.29%)的水分蓄留于土壤中,440.30mm(92.41%)通过植物蒸腾到达大气,25.27mm(5.30%)通过土壤蒸发到达大气。证明稻草覆盖和自然覆被使得更多的水分(稻草覆盖15.71%,自然覆被7.30%)以植物蒸腾(生产性耗水)和土壤蓄留的方式进入循环,有效的保蓄了水分和减少了无效水分消耗。

表5 桔园水量平衡

Table 5 Soil water balance under different treatments

处理 Treatments	月份 Month	收入 Input(mm)			支出 Output(mm)			收入/支出 Input/Output
		降雨量 Rainfall	储水减量 System moisture decrease	总收入 Total input	蒸散量 Evapotranspiration	储水增量 System moisture crease	总支出 Total output	
T3	6	205	-	205	196.3	8.7	205	100
	7	148.8	8.66	157.46	157.46	-	157.46	100
	8	114	-	114	111.81	2.19	114	100
	总计 Total	467.8	8.66	476.46	465.57	10.89	476.46	100
T2	6	205	-	205	201.76	3.24	205	100
	7	148.8	10.76	159.56	159.56	-	159.56	100
	8	114	4.12	118.12	118.12	-	118.12	100
	总计 Total	467.8	14.88	482.68	479.44	3.24	482.68	100
T1	6	205	-	205	203.27	1.73	205	100
	7	148.8	14.68	163.48	163.48	-	163.48	100
	8	114	14.53	128.53	128.53	-	128.53	100
	总计 Total	467.8	29.21	497.01	495.28	1.73	497.01	100

3 结论

稻草覆盖和自然覆被是解决红壤丘陵区季节性干旱的有效措施,能够改善降雨的积蓄利用和调控土壤水分结构。

(1)雨后48h,降雨对裸地、自然覆被和稻草覆盖土壤含水量的影响深度分别为20、40cm和80cm,稻草覆盖更有利于雨水向深层入渗;此外,稻草覆盖和自然覆被更有利于雨水的储存,雨后48h稻草覆盖和自然覆被分别比裸地土壤储水量增量多3.33mm和1.33mm。

(2)稻草覆盖和自然覆被均明显抑制土壤蒸发,土壤蒸发抑制率分别为69.10%和36.53%,其中稻草覆盖的效果更好,其蒸发抑制作用在午间高温时段表现尤为明显。

(3)0~20cm土层受外界条件影响较大,土壤水分变异系数较大,自然覆被由于覆盖的植被消耗表层水分,水分亏缺较大,各处理平均含水量为稻草覆盖>裸地>自然覆被;20~80cm是植株根系主要分布层,土壤水分变异减小,平均含水量稻草覆盖>自然覆被>裸地;120~160cm深土层中,自然覆被下土壤水分得不到补给,变异系数增大,稻草覆盖和裸地水分变化稳定,平均含水量稻草覆盖>裸地>自然覆被。

(4)稻草覆盖改变了土壤水分消耗结构。在3个月的旱季当中,稻草覆盖和自然覆被使得更多的水分以植物蒸腾(15.71%和7.30%)和土壤蓄留的方式支出,并且分别降低20.55mm和14.33mm的水分支出,使得稻草覆盖条件下降雨可以保证植物的正常水分代谢而无需额外从土壤系统中获取水分。

综上所述,稻草覆盖能够加强降雨入渗,降低土壤蒸发,更加有效的利用深层土壤水库,增强了桔园的自我调控能力,是亚热带干旱技术防御体系中的一种有效技术,自然覆被虽然对于桔园土壤水分有一定的调控作用,但是旱季其深层土壤水分消耗极大且得不到补给,而且覆盖的植被消耗土壤表层水分,因此自然覆被并

不是很理想的覆被措施,如若采用此种措施,对于覆被的植物种类要谨慎选择,以免在旱季与桔树争夺水分。

References:

- [1] Hu S, Peng N, Xie X L. A review: Study on water conservation in cropland with stalk cover. *Chinese Journal of Agro Meteorology*, 2007,28(1): 49—53.
- [2] Gao Y J, Li Y, Li S X. Effects of different wheat cultivation methods on residual nitrate nitrogen in soil in dryland. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11):2901—2910.
- [3] Li L L, Huang G B, Zhang R Z. Effects of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2005,25(9):2326—2332.
- [4] Han L J, Yan Q J, Liu X J. Straw resources and their utilization in China. *Transactions of the CSAE*, 2002,18(3):87—91.
- [5] Peng W X, Song T Q, Xiao R L. Effects of straw mulching and intercropping white clover in tea plantation on soil moisture in subtropical hilly region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005,19(6):97—101.
- [6] Zhang B, Zhang T L. Cause of seasonal drought formation and strategy of the eastern hills in southern China. *Acta Ecologica Sinica*, 1995,15(4): 499—502.
- [7] Xie X L, Wang K R. Equilibrium and management of water resource in hilly area around Dongting Lake. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001,15(4):92—95.
- [8] Wang K R, Xie X L, Zhou W J. Problems and countermeasures in agricultural exploitation of red soil hilly slope-lands. *Agro-environmental Protection*, 2000,19(5):278—281.
- [9] Huang C Y. Soil water. In: Huang C Y ed. *Soil Science*. Beijing: Chinese Agriculture Publishing Company, 2000:115—116.
- [10] Xie X L, Wang K R, Zhou W J. Status and management of water resources in red soil regions and hilly-sloppy lands. *Journal of Mountain Science*, 200,18(4):336—340.
- [11] Yuan J F. Effects of straw mulch in wheat field and its effects on yield increase. *Eco-agriculture Research*, 1996,4(3):61—65.
- [12] Wang X Y, Chen H S, Wang K L. Spatio-temporal dynamic of soil water in sloping land with different use modes in red soil region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006,20(2):110—113.
- [13] Liu L J, Gao H W, Li H W. Experimental study on effect of mulch cover on rainwater infiltration. *Journal of China Agriculture University*, 2004, 9(5):12—15.
- [14] Chen S Y, Zhang X Y, Pei D. Soil evaporation and soil temperature in maize field mulched with wheat straw. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2004,23(4):32—36.
- [15] Shen W J, Peng S L, Zhou G Y. Hydrological properties and water balance on grassland ecosystem in Heshan hill region. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000,24(2):162—168.

参考文献:

- [1] 胡实,彭娜,谢小立,等. 农田秸秆覆盖保墒研究. *中国农业气象*,2007,28(1):49~53.
- [2] 高亚军,李云,李生秀,等. 旱地小麦不同栽培条件对土壤硝态氮残留的影响. *生态学报*,2005,25(11):2901~2910.
- [3] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等. 不同保护耕作措施对旱作农田土壤水分的影响. *生态学报*,2005,25(9):2326~2332.
- [4] 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳. 中国农作物秸秆资源及其利用现状. *农业工程学报*,2002,18(3):87~91.
- [5] 彭晚霞,宋同清,肖润林,等. 覆盖与间作对亚热带丘陵茶园土壤水分供应的调控效果. *水土保持学报*,2005,19(6):97~101.
- [6] 张斌,张桃林. 南方东部丘陵区季节性干旱成因及其对策. *生态学报*,1995,15(4):499~503.
- [7] 谢小立,王凯荣. 环洞庭湖丘岗地区水资源平衡及其管理. *水土保持学报*,2001,15(4):92~95.
- [8] 王凯荣,谢小立,周卫军,等. 红壤丘岗坡地农业开发利用的问题与对策. *农业环境保护*,2000,19(5):278~281.
- [9] 黄昌勇. 土壤水. 见:黄昌勇主编. *土壤学*. 北京:中国农业出版社,2000.115~116.
- [10] 谢小立,王凯荣,周卫军. 红壤丘岗坡地水资源状况与管理. *山地学报*,200,18(4):336~340.
- [11] 袁家富. 麦田秸秆覆盖效应及增产作用. *生态农业研究*,1996,4(3):61~65.
- [12] 王晓燕,陈洪松,王克林,等. 不同土地利用方式下红壤坡地水分时空动态变化规律研究. *水土保持学报*,2006,20(2):110~113.
- [13] 刘立晶,高煥文,李洪文. 秸秆覆盖对降雨入渗影响的试验研究. *中国农业大学学报*,2004,9(5):12~15.
- [14] 陈素英,张喜英,裴东,等. 秸秆覆盖对夏玉米田裸间蒸发和土壤温度的影响. *灌溉排水学报*,2004,23(4):32~36.
- [15] 申卫军,彭少麟,周国逸,等. 鹤山丘陵草坡的水文特征计水量平衡. *植物生态学报*,2000,24(2):162~168.