

不同水土保持措施下红壤坡耕地浅层 土壤水分含量对降雨的响应

郑太辉^{1,2}, 汤崇军^{1,2}, 徐铭泽^{1,2}, 蔡袁海^{1,2}, 陈晓安^{1,2}

(1.江西省水土保持科学研究院, 南昌 330029; 2.江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 南昌 330029)

摘要:为探明次降雨条件下花生不同生长期红壤坡耕地土壤水分含量变化对水土保持措施的响应,利用人工模拟降雨试验,研究采取常规耕作、有机肥+常规耕作、稻草覆盖+深翻耕、保水剂+常规耕作等措施的红壤坡耕地小区 20 cm 深度层土壤水分含量在次降雨过程(1.5 h)及降雨结束后 1 h 内的连续变化规律。结果表明:花生不同生长期红壤坡耕地上、下坡 20 cm 深度土壤含水量在降雨后的变化幅度均呈收获期 \approx 结荚期 $>$ 盛花期 $>$ 出苗期 $>$ 翻耕期($p < 0.01$)。稻草覆盖+深翻耕措施在提高红壤坡耕地土壤蓄水能力方面效果最显著,尤其是在花生翻耕期和收获期,增幅分别比常规耕作措施高 26% 和 64%。保水剂对红壤坡地土壤保水效果的促进作用主要体现在花生翻耕期,而花生其他生长期则不明显;而有机肥增施措施对红壤坡地土壤保水效果的促进作用主要体现在花生翻耕期、结荚期和收获期。研究结果表明稻草覆盖+深翻是适合红壤丘陵区坡耕地土壤水分持续高效利用的有效模式。

关键词:土壤学; 土壤水分; 人工模拟降雨; 红壤坡耕地; 花生

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)05-0113-07

Response of Surface Soil Water Contents to Rainfall on Red Soil Sloping Farmland Under Different Soil Conservation Measures

ZHENG Taihui^{1,2}, TANG Chongjun^{1,2}, XU Mingze^{1,2}, CAI Yuanhai^{1,2}, CHEN Xiaohan^{1,2}

(1.*Jiangxi Research Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029,*

China; 2.*Key Laboratory of Soil Erosion and Prevention, Jiangxi Province, Nanchang 330029, China*)

Abstract: In order to investigate the response of soil moisture content to conservation measures on red soil sloping farmland at different growth stages of peanut under individual rainfall, simulated rainfall experiments were conducted to study the continuous variation of soil moisture content on red soil slope farmland under conventional tillage, organic fertilizer + conventional tillage, mulching + deep tillage, water-retaining agent + conventional tillage during 1.5 h rainfall process and within one hour after the end of rainfall. The results showed that the increase rates of water content in 0—20 cm soil layer on the upper and lower slopes of red soil sloping farmland at different growth stages of peanut decreased in the order: harvested stage \approx podding stage $>$ florescence stage $>$ emergence stage $>$ tillage stage ($p < 0.01$); the improving effect of straw mulching plus deep tillage on the soil water storage capacity of red soil sloping farmland was the most significant, especially in peanut tillage and harvest period, soil water storage was 26% and 64% higher than those of conventional tillage measures, respectively; the water conservation effect of water-retaining agent on the red soil sloping land was significant in peanut tillage period, but it was not obvious in other growth periods of peanut; the water conservation effect of organic fertilizer on the red soil sloping land was significant in peanut tillage period, pod period and harvest period. These results indicate that straw mulching plus deep ploughing is an effective model for sustainable and efficient utilization of soil moisture in sloping cultivated land in red soil hilly area.

Keywords: pedology; soil moisture; artificial rainfall; red soil slope farmland; peanut

收稿日期:2019-11-09

修回日期:2019-12-09

资助项目:江西水利科技项目(KT201615,KT201720);国家自然科学基金(41867016,41501289)

第一作者:郑太辉(1985—),男,江西黎川人,高级工程师,博士,主要从事土壤侵蚀研究工作。E-mail:ztaihui@163.com

通信作者:陈晓安(1983—),男,安徽芜湖人,高级工程师,硕士,主要从事土壤侵蚀研究工作。E-mail:onlycxa@163.com

坡耕地(Slope farmland)是红壤丘陵山区非常重要的土地资源之一,具有水、热、光资源相当丰富等特点,在国内农业生产发挥着重要的作用^[1]。红壤坡耕地所在区域通常降雨强度较大且比较集中,且表现出季节分布不均匀的特点,从而导致该区域经常发生季节性干旱或洪涝灾害等异常天气,与此同时,红壤质地偏黏性,其有效水库容总体偏小,蓄水能力也不强,这些都严重威胁着红壤丘陵山区的粮食生产安全^[2]。因此,如何有效改善红壤物理性质,提高土壤蓄水保墒性能是应对红壤丘陵区季节性干旱,是促进农业可持续发展的关键。

研究表明,稻草覆盖(Straw mulching)、施用有机肥(Organic fertilization)或添加保水剂等一些措施都可以不同程度上起到对土壤物理性质如土壤蓄水能力的改善作用^[1,3-7]。林丽蓉等^[3]通过研究红壤旱坡地水力性质及水分状况对稻草覆盖的响应,发现,采用稻草覆盖后土壤的持水性及有效水库容均得到显著提高,土壤入渗能力显著增加,红壤表层饱和导水率在雨季的降低幅度,从而对红壤保水抗旱能力起到有效促进作用。王晓娟等^[4]通过研究旱地土壤水分和玉米产量对有机肥使用的响应,指出有机肥使用量为中等水平时,旱地土壤蓄水保墒能力提高及玉米产量提升效果最明显。保水剂可以有效调节土壤三相(土粒、土壤水分及土壤空气)的比例及分布情况,从而有效降低土壤容重、增加孔隙数量并改善其分布状况,显著提高土壤保水、保肥功能^[6-7]。

综上所述,关于稻草覆盖、施用有机肥或保水剂等措施的保水效益已有报道,但研究主要通过取样后进行相关理化指标测试,对比不同措施下土壤含水量大小。而关于次降雨过程中采取不同措施的红壤坡耕地小区土壤水分含量变化规律的原位对比研究还较少。鉴于此,本文通过开展人工降雨模拟试验,对比研究次降雨过程中经稻草覆盖、施用有机肥或保水剂等措施处理的红壤坡耕地小区浅层土壤水分含量变化规律,阐明措施对土壤水分变化规律的影响,为红壤丘陵区土壤水分持续高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2018 年 5—9 月在江西省水土保持生态科技园进行。该科技园地处江西省北部的德安县燕沟小流域,小流域面积约 80 hm²。属亚热带季风气候区,多年平均降雨量 1 350.9 mm,降水年内分布不均,主要集中在 6—9 月,且多以暴雨形式出现,多年

平均气温 16.7℃。地貌为浅丘岗地,海拔 30~100 m,坡度 5°~25°;成土母质以第四纪红黏土为主。

1.2 试验设计

试验设置 4 个处理:常规耕作(对照)、有机肥+常规耕作、稻草覆盖+深翻耕、保水剂+常规耕作,每个处理设置 3 个平行。种植作物为红壤丘陵区坡耕地最主要的农作物花生。

试验采用规格为长 2 m×宽 1 m×高 0.6 m 的土槽进行。土槽坡度均设置为 10°。土槽底部填筑 3 cm 厚度的粗砂,粗砂上覆盖一层土工布,再填筑过 10 cm 筛的第四纪红黏土。3—25 cm(以底板为基准计算)填筑土壤容重控制在 1.44 g/cm³;25—45 cm(以底板为基准计算)填筑土壤容重分别控制为 1.32 g/cm³(常规耕作措施),1.15 g/cm³(深翻措施);45—65 cm 填筑土壤容重控制为 1.15 g/cm³。填土过程按照 10 cm 一层分层填土。采用稻草覆盖+深翻耕措施的土槽在花生播种覆土后按播种顺序方向均匀覆盖稻草,覆盖量为 10 t/hm²。保水剂采用华翔聚丙烯酸钾盐型农用保水剂,使用量为 90 kg/hm²。有机肥使用量为 2.25 t/hm²,全部作为基肥,施肥方式为穴施。所有措施花生株行距统一为 30 cm×30 cm。

在每个土槽上、下坡位各安装 1 个 EM50 土壤水分数据采集器,采集器埋设深度为 20 cm,采集频率为每隔 5 min 一次。

1.3 人工模拟降雨试验

人工模拟降雨试验在江西省水土保持生态科技园人工模拟降雨大厅进行,采用西安清远测控技术有限公司设计的 QYJY-503 人工模拟降雨系统,主要由供水系统、降雨系统、控制系统和显示系统 4 个部分组成。系统采用先进的垂直下喷式喷头模拟自然降雨,降雨高度 18 m。根据花生生长期进行降雨,降雨时间分为为 2018 年 5 月 30 日(花生出苗期),2018 年 6 月 28 日(花生盛花期),2018 年 7 月 22 日(花生结荚期),2018 年 8 月 20 日(花生收获期)及 2018 年 9 月 11 日(翻耕期)。雨强大小设置为 1.5 mm/min,降雨历时 90 min。降雨开始的同时用 EM50 土壤水分数据采集器采集 0—20 cm 土壤水分含量(5 min 一次),降雨结束后继续采集 2 h 的数据。

2 结果与分析

2.1 次降雨条件下花生不同生长期坡耕地浅层土壤水分变化情况

图 1 显示的是花生不同生长期坡耕地土壤(20 cm)含水量对降雨的响应情况。不同生长期坡耕地上、下坡 20 cm 深度土壤含水量在降雨后的变化幅

度均呈收获期 \approx 结荚期 $>$ 盛花期 $>$ 出苗期 $>$ 翻耕期 ($p<0.01$)。常规耕作措施下,花生不同生长期坡耕地上、下坡位浅层含水量对将降雨的响应规律差异较大,翻耕期上坡位 20 cm 深度土壤含水量降雨前后变化幅度较小(降雨后提升幅度约 20%),且增速缓慢,而下坡位 20 cm 深度土壤含水量变化幅度较大(降雨后变化幅度达 38%)。出苗期常规耕作措施小区上、下坡位 20 cm 深度土壤含水量在降雨后的变化幅度分别为 38%和 52%,均显著高于翻耕期($p<0.01$)。与此同时,出苗期常规耕作措施小区上、下坡

位 20 cm 深度土壤含水量分别于降雨后 40 min,45 min 达到最大值,比翻耕期 20 cm 深度土壤含水量达到峰值的时间显著提前。盛花期和结荚期常规耕作措施小区上、下坡位 20 cm 深度土壤含水量变化趋势相似,均表现为降雨开始后逐渐增加,降雨结束后(90 min 后)则呈现一定程度的降低,但结荚期 20 cm 深度土壤含水量变化幅度要显著高于盛花期($p<0.01$)。收获期常规耕作措施小区上、下坡位 20 cm 深度土壤含水量均呈现大幅提升趋势,增幅均超过 100%,且降雨结束后衰减幅度较慢。

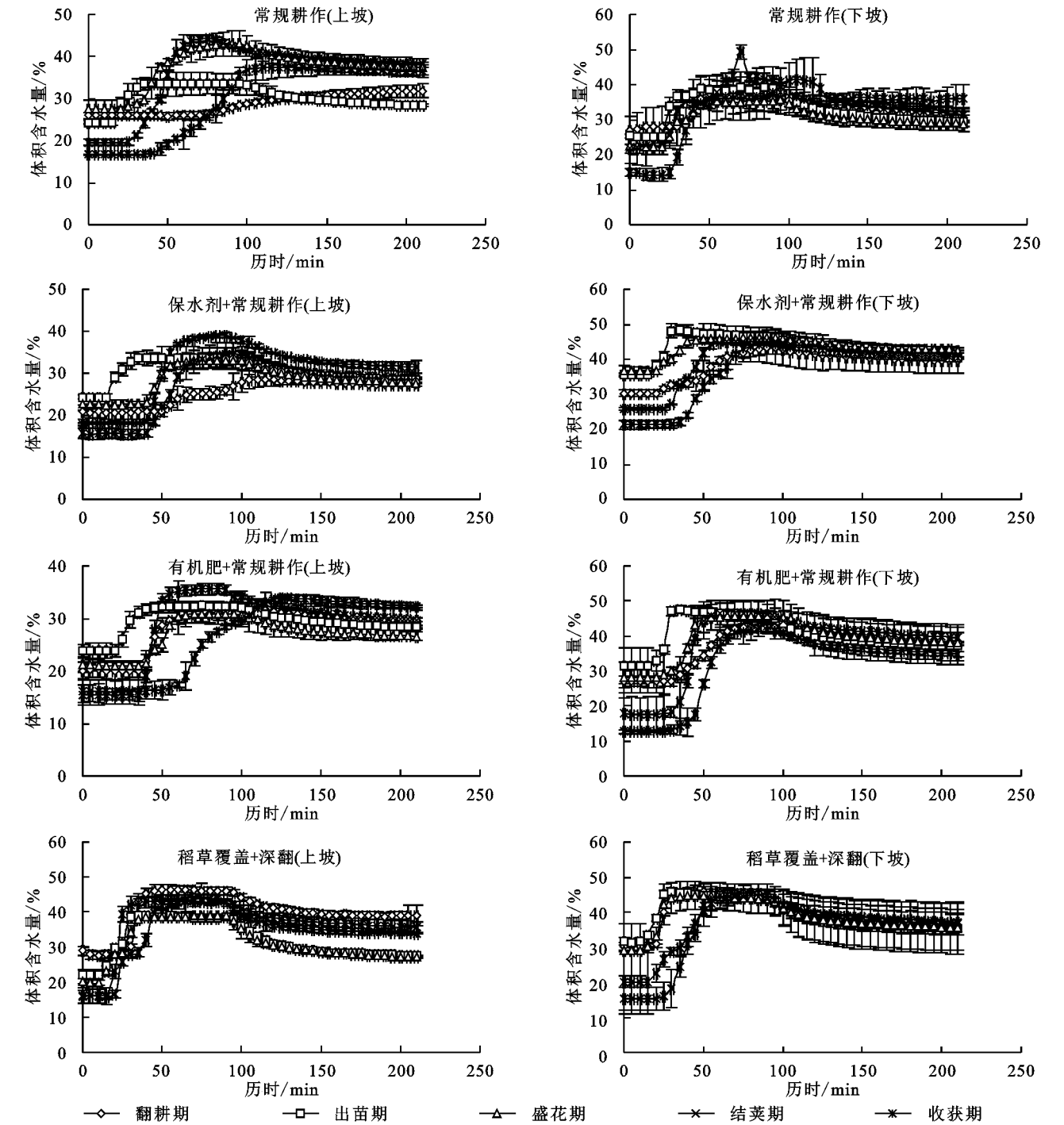


图 1 花生不同生长期坡耕地土壤(20 cm)水分含量对降雨的响应情况

类似于常规耕作小区,保水剂+常规耕作措施小区不同生长期 20 cm 深度土壤含水量降雨后的提高幅度亦呈现为收获期 \approx 结荚期 $>$ 盛花期 $>$ 出苗期 $>$ 翻耕期($p<0.01$)。出苗期保水剂+常规耕作措施小区 20 cm 深度土壤含水量对降雨的响应最快,且达到峰值的时间也最短。

花生不同生长期有机肥+常规耕作措施小区 20 cm 深度土壤含水量在人工模拟降雨后均呈现较大幅度的提高。该小区上、下坡位 20 cm 深度土壤含水量在不同花生生长期的降雨响应规律相差较大。其中,结荚期小区上坡位 20 cm 深度土壤含水量在降雨后的提高幅度最高,收获期次之,而出苗期最低,翻耕期与盛花期 20 cm 深度土壤含水量变化幅度类似。小区下坡位 20 cm 深度土壤含水量在降雨后的提高幅度则呈现:结荚期 \approx 收获期 $>$ 盛花期 $>$ 出苗期 \approx 翻耕期($p<0.01$)。

花生不同生长期稻草覆盖+深翻小区上坡位 20 cm 深度土壤含水量对人工模拟降雨的响应规律相似,总体呈现结荚期 \approx 收获期 $>$ 出苗期 \approx 盛花期 $>$ 翻耕期($p<0.01$)。花生不同生长期稻草覆盖+深翻小区下坡位 20 cm 深度土壤含水量降雨前差异较大,但人工模拟降雨后相差较小。

2.2 不同水保措施下坡耕地浅层土壤水分对次降雨的响应

翻耕期不同水保措施小区上坡位 20 cm 深度土壤含水量在降雨后的变化幅度呈现稻草覆盖+常规耕作 $>$ 有机肥+常规耕作 $>$ 保水剂+常规耕作 $>$ 常

规耕作,而下坡位 20 cm 深度土壤含水量则呈现稻草覆盖+常规耕作 $>$ 有机肥+常规耕作 \approx 保水剂+常规耕作 $>$ 常规耕作(图 2)($p<0.01$)。在翻耕期,常规耕作措施小区上坡位 20 cm 深度土壤含水量在人工模拟降雨开始后 70 min 基本没有明显变化,70 min 后才开始呈现缓慢增长趋势。相比之下,常规耕作措施小区下坡位 20 cm 深度土壤含水量在人工模拟降雨开始后即开始增加,在降雨后 50 min 即达到最大值,从降雨前的 26.9%提高至 37.3%,增加 10.4%,增幅达 38.7%(表 1)。50 min 后常规耕作措施小区下坡位 20 cm 深度土壤含水量呈现逐渐降低趋势。保水剂+常规耕作措施小区上、下坡位 20 cm 深度土壤含水量在人工模拟降雨后均呈现较大幅度提升,其中,上坡位从 20.8%提高至 28.6%,增加 7.8%,增幅达 37.5%;下坡位从 30.4%提高至 43.2%,增加 12.8%,增幅达 42%。保水剂+常规耕作措施小区上、下坡位 20 cm 深度土壤含水量分别于降雨开始后 110 min, 90 min 达到峰,后呈现缓慢降低趋势。有机肥+常规耕作措施小区上、下坡位 20 cm 深度土壤含水量在人工模拟降雨试验开始后 40 min 均呈现较大幅度的提升,在降雨 90 min(人工模拟降雨试验结束)达到峰值。下坡位 20 cm 深度土壤含水量增加速度显著高于上坡位($p<0.01$)。类似于有机肥+常规耕作措施小区,稻草覆盖+常规耕作措施小区上、下坡位 20 cm 深度土壤含水量在降雨后亦呈现大幅提升,降雨停止后则呈现一定幅度的下降。

表 1 花生不同生长期水保措施对红壤红坡耕地土壤保水效益的影响 %

生长期	指标	常规耕作($n=3$)		保水剂+常规($n=3$)		有机肥+常规($n=3$)		稻草覆盖+深翻($n=3$)	
		上坡	下坡	上坡	下坡	上坡	下坡	上坡	下坡
翻耕期	降雨前土壤含水量	26.0 \pm 0.8	26.9 \pm 3.9	20.8 \pm 1.6	30.4 \pm 2.8	20.1 \pm 1.1	27.0 \pm 2.2	28.9 \pm 1.1	30.3 \pm 0.8
	降雨后最大含水量	31.9 \pm 1.6	37.3 \pm 1.8	28.6 \pm 2.0	43.2 \pm 2.5	31.7 \pm 1.0	42.7 \pm 1.4	46.4 \pm 1.5	45.7 \pm 0.9
	提高幅度	22.7	38.7	39.0	42.2	58.0	58.3	60.6	51.1
出苗期	降雨前土壤含水量	24.4 \pm 0.5	24.9 \pm 0.8	24.4 \pm 0.5	35.6 \pm 0.8	23.8 \pm 1.3	31.5 \pm 5.0	22.2 \pm 1.3	31.6 \pm 1.1
	降雨后最大含水量	33.6 \pm 3.8	39.5 \pm 0.2	33.6 \pm 2.6	48.2 \pm 1.2	32.4 \pm 0.9	47.5 \pm 1.2	39.0 \pm 0.5	46.0 \pm 1.1
	提高幅度	38.0	53.4	38.0	35.6	35.3	51.0	75.1	45.6
盛花期	降雨前土壤含水量	27.5 \pm 2.3	22.6 \pm 2.3	22.6 \pm 1.4	36.8 \pm 4.7	21.2 \pm 1.3	28.3 \pm 4.3	20.4 \pm 0.8	29.2 \pm 7.5
	降雨后最大含水量	43.2 \pm 3.0	35.2 \pm 0.4	33.1 \pm 2.0	46.3 \pm 3.5	30.9 \pm 1.3	45.9 \pm 3.9	38.9 \pm 0.4	44.7 \pm 4.0
	提高幅度	53.6	55.8	46.5	25.8	45.2	62.1	90.0	53.1
结荚期	降雨前土壤含水量	19.6 \pm 0.7	21.7 \pm 4.3	17.8 \pm 0.3	25.9 \pm 0.7	15.4 \pm 1.9	17.8 \pm 4.7	15.9 \pm 1.5	19.9 \pm 8.9
	降雨后最大含水量	44.4 \pm 0.6	49.4 \pm 2.0	39.1 \pm 0.5	45.3 \pm 4.0	35.7 \pm 1.0	46.6 \pm 3.6	43.9 \pm 2.3	45.6 \pm 1.2
	提高幅度	125.3	128.0	113.7	75.2	132.0	162.3	175.4	123.9
收获期	降雨前土壤含水量	16.7 \pm 0.07	21.4 \pm 3.8	15.8 \pm 1.3	21.4 \pm 0.8	16.2 \pm 2.2	12.7 \pm 0.5	16.3 \pm 2.2	15.3 \pm 3.3
	降雨后最大含水量	37.5 \pm 2.3	44.3 \pm 4.1	34.7 \pm 2.5	44.3 \pm 4.1	34.0 \pm 0.2	42.8 \pm 2.3	42.9 \pm 0.8	45.4 \pm 1.2
	提高幅度	124.9	107.1	119.9	107.1	109.2	238.3	162.9	196.4

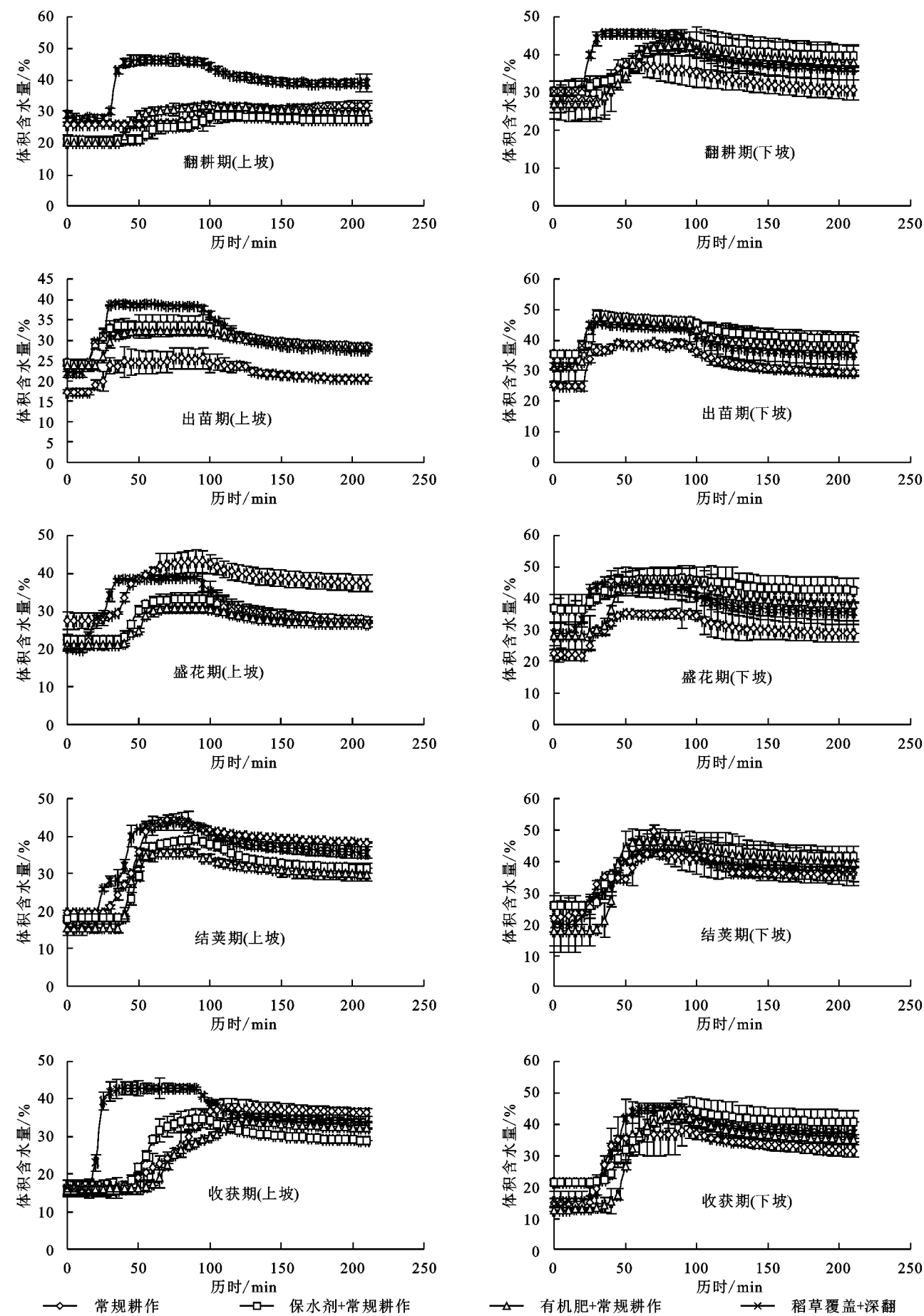


图2 不同水保措施下土壤(20 cm 深度)水分含量对降雨的响应情况

花生出苗期不同水保措施小区上、下坡位 20 cm 深度土壤含水量呈现相似的规律,即人工模拟降雨试验开始后 20 min 呈现快速增加趋势,降雨结束后则呈现下降趋势。稻草覆盖+常规耕作小区 20 cm 深度土壤含水量在降雨后的增幅最高,其他几种措施相差不大。花生盛花期,稻草覆盖+常规耕作小区 20 cm 深度土壤含水量在降雨后 10 min 即呈现快速增加的趋势,在降雨后 40 min 即达到峰值,并随着继续降雨保持在峰值水平,降雨结束后以较快速度降低。有机肥+常规耕作、保水剂+常规耕作小区上坡位 20 cm 深度土壤含水量对降雨的响应规律相似,但有机肥+常规耕作小区下坡位 20 cm 深度土壤含水量在降雨后的增长幅度要显著高于保水剂+常规耕作小区。花生结荚期,不同水保措施小区上、下坡位 20 cm 深度土壤含水量呈现相似的规律,均在降雨后 30 min 开始增加,70 min 左右达到峰值,70 min 后开始逐渐降低。稻草覆盖+常规耕作小区 20 cm 深度土壤含水量在降雨后的增幅最高,其他几种措施相差不大。花生收获期,不同水保措施小区上坡位 20 cm 深度土壤含水量在降雨后的变化幅度呈现稻草覆盖+常规耕作>保水剂+常规耕作>有机肥+常规耕作≈常规耕作($p<0.01$)。花生收获期常规耕作措施小区下坡位 20 cm 深度土壤含水量在降雨后的提高幅度要显著低于其他 3 种措施小区($p<0.01$)。

3 讨论

红壤坡耕地所在区域通常降雨强度较大且比较集中,且表现出季节分布不均匀的特点,从而导致该区域经常发生季节性干旱或洪涝灾害等异常天气^[8],与此同时,红壤质地较黏重,有效水库容总体偏小,蓄水能力也较弱,因此,如何提高红壤蓄水保墒能力是区域内亟待解决的重要问题之一。本研究通过对比有机肥+常规耕作、稻草覆盖+深翻耕、保水剂+常规耕作以及常规耕作措施下红壤坡耕地 20 cm 深度土壤含水量对降雨的响应规律及降雨结束后的变化规律,为提高红壤坡耕地土壤蓄水保墒能力、缓解红壤区季节性干旱等气候危害提供技术支撑和理论依据。

研究结果显示,稻草覆盖+深翻耕措施在提高红壤坡耕地土壤蓄水能力方面效果最显著,尤其是在花生翻耕期和收获期。在降雨 20 min 后,稻草覆盖+深翻耕措施小区土壤含水量即快速增加,在降雨持续 40~50 min 后达到最大值,并保持直到降雨结束后才慢慢降低,分析原因可能是采取稻草覆盖可以有效

提高土壤有机质、降低土壤黏粒流失、促进土壤团聚体数量增加,进而改善土壤物理特性,增加土壤水分入渗能力^[9-10]。因此,人工模拟降雨试验开始后,稻草覆盖+深翻耕措施浅层土壤含水量快速提高,而降雨结束后由于土壤浅层土壤水分含量迅速向更深层土壤渗透,因此浅层土壤含水量呈现持续下降趋势。学者通过研究发现采用稻草覆盖措施能够有效调节土壤地温、减少土壤水分增发、提高土壤保水能力、提升土壤地力条件、增加土壤有效水含量,进而促进作物产量提高等^[11]。同时,将稻草覆盖进行还田还可以有效降低土壤通气孔隙数量并促进有效孔隙数量增加,进而有效提高土壤蓄水保墒性能^[12]。在花生翻耕期和收获期,稻草覆盖措施的保水效益最明显,主要是因为花生翻耕期和收获期受到人为扰动较频繁,而采取稻草覆盖措施后地表裸露面积显著降低,水土流失显著降低,抑制土壤水分蒸发,促进降雨就地入渗^[1],故稻草覆盖措施具有最显著的抗旱保墒能力。而在花生其他生长期,尤其是盛花期、结荚期,花生本身覆盖度较高,加上人为扰动较大,因此稻草覆盖措施对土壤水分的增加效应没有花生翻耕期和收获期显著。

保水剂是一类吸水 and 保水非常强的高分子有机聚合物,主要是因为保水剂分子中含有大量强吸水基团。向土壤添加适量的保水剂能够显著改善土壤孔隙状况,增加土壤总孔隙度、毛管孔隙度、土壤有效水容量,进而提高土壤抗旱保墒作用^[6,13-15]。本研究中,保水剂处理对红壤坡地土壤保水效果的促进作用最显著的时期为花生翻耕期,而在花生其他生长期未呈现比对照(常规耕作)更强的保水效果。主要原因是,花生翻耕期,土壤表面裸露,再加上人为翻耕扰动导致土壤比较疏松,而该时期向土壤添加保水剂后开展人工模拟降雨,保水剂迅速吸水膨胀,因此土壤含水量呈现显著提高,而花生其他生长期,因为保水剂原因,红壤坡耕地土壤降雨前期含水量处于较高水平,但因保水剂已经处于吸水膨胀状态,再遇到降雨后其继续吸水的能力较小,因而对降雨后土壤水分含量变化的影响较小。

向土壤施加适量有机肥也能够对土壤含水量产生明显的影响^[16-17]。研究发现施加适量有机肥能够有效促进土壤物理特性改善、显著提高土壤水分库容^[18],减少土壤水分蒸发^[19]、增加降水入渗^[20]、增加土壤有效水含量^[4-5]。在本研究中,花生翻耕期有机肥+常规耕作措施小区浅层土壤水分含量在降雨后的提高幅度显著高于保水剂+常规耕作、常规耕作小

区,仅次于稻草覆盖+深翻小区;而在花生其他生长期,有机肥+常规耕作措施的保水效益与保水剂+常规耕作、常规耕作措施差异不显著。翻耕期,增加有机肥改善土壤物理性质,提高了保水效,而花生其他生长期,施加有机肥的小区花生生物量更大,花生需水量更大,降雨后,花生根系吸收了更多地水分,导致有机肥+常规耕作措施土壤水分含量提高幅度与保水剂+常规耕作、常规耕作措施差异不明显。

4 结 论

(1) 花生不同生长期,采取稻草覆盖+深翻措施的小区土壤浅层土壤水分在降雨后的提高幅度均显著高于有机肥+常规耕作、保水剂+常规耕作和常规耕作小区($p<0.01$)。稻草覆盖措施在花生翻耕期和收获期的保水效益最强。

(2) 花生翻耕期,保水剂和有机肥增施处理主要对红壤坡地土壤保水效果的促进作用明显,且有机肥增施措施对土壤保水效应的促进作用显著高于保水剂添加措施($p<0.01$),而花生其他生长期则不明显。

(3) 稻草覆盖+深翻适宜在红壤丘陵区坡耕地进行推广应用,有利于区域内坡耕地土壤水分的持续高效利用。

参考文献:

[1] 郑海金,杨洁,黄鹏飞,等.覆盖和草篱对红壤坡耕地花生生长和土壤特性的影响[J].农业机械学报,2016,47(4):119-126.

[2] 黄道友,王克林,黄敏,等.我国中亚热带典型红壤丘陵区季节性干旱[J].生态学报,2004,24(11):2516-2523.

[3] 林丽蓉,陈家宙,王峰,等.稻草覆盖对红壤旱坡地水力性质及水分状况的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(2):159-166.

[4] 王晓娟,贾志宽,梁连友,等.旱地施有机肥对土壤水分和玉米经济效益影响[J].农业工程学报,2012,28(6):144-149.

[5] 李娟,葛磊,曹婷婷,等.有机肥施用量和耕作方式对旱地土壤水分利用效率及作物生产力的影响[J].水土保持学报,2019,33(2):121-127.

[6] 李培培,仝昊天,翟庆慧,等.不同保水措施对砂质潮土

水分、微生物量及小麦产量的影响[J].中国土壤与肥料,2019(4):78-83.

[7] 宋海燕,汪有科,汪星,等.保水剂用量对土壤水分的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):33-36.

[8] 宫丽丹,殷振华.保水剂在农业生产上的应用研究[J].中国农学通报,2009,25(22):174-177.

[9] 郑太辉,陈晓安,杨洁.近 50 a 江西省旱、涝变化趋势及驱动因素研究[J].长江流域资源与环境,2016,25(4):664-670.

[10] 郭伟,史志华,陈利顶,等.红壤表土团聚体粒径对坡面侵蚀过程的影响[J].生态学报,2007,27(6):2516-2522.

[11] 薛蕙,刘国彬,张超,等.黄土高原丘陵区坡改梯后的土壤质量效应[J].农业工程学报,2011,27(4):310-316.

[12] 沈裕琥,黄相国,王海庆.稻草覆盖的农田效应[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):45-50.

[13] 王秋菊,张敬涛,盖志佳,等.长期免耕稻草覆盖对寒地草甸土土壤物理性质的影响[J].应用生态学报,2018,29(9):2943-2948.

[14] 介晓磊,李有田,韩燕来,等.保水剂对土壤持水特性的响[J].河南农业大学学报,2000,34(1):22-24.

[15] 闫永利,魏占民,任秀苹,等.保水剂对土壤持水性影响及在不同土壤中效果比较[J].节水灌溉,2016(1):34-38.

[16] Fusheng L, Jiangmin Y, Mengling N, et al. Partial root-zone irrigation enhanced soil enzyme activities and water use of maize under different ratios of inorganic to organic nitrogen fertilizers [J]. Agricultural Water Management, 2010,97(2):231-239.

[17] Mohanty M, Bandyopadhyay K, Painuli D, et al. Water transmission characteristics of a Vertisol and water use efficiency of rainfed soybean(*Glycine max* (L.) Merr.) under subsoiling and manuring [J]. Soil & Tillage Research, 2007,93(2):420-428.

[18] 崔红艳,许维成,孙毓民.施用有机肥对土壤水分、胡麻产量和品质的影响[J].水土保持学报,2014,28(3):307-312.

[19] 冯瑞云,王慧杰,郭峰,等.秸秆型土壤改良剂对土壤结构和水分特征的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(9):44-48,65.

[20] 蒋美佳,刘晓林,冯钰梅,等.有机肥配施保水剂对紫色土水分入渗及氮素淋溶的影响[J].水土保持学报,2019,33(5):99-104.