松华坝水源区等高反坡阶对坡耕地雨季土壤水分空间分布的影响

武 军，王克勤，华锦欣

（西南林业大学 环境科学与工程学院，云南 昆明 650224）

摘　要：[目的] 分析昆明市松华坝水源区等高反坡阶对雨季坡耕地的土壤水分分布的影响，为该区域内等高反坡阶的改造提供理论依据。[方法] 在水源保护区迤者小流域内坡耕地布设等高反坡阶，对不同位置坡面和阶面及其不同土层深度不同时期的土壤水分含量进行了观测。[结果] 在长期大量降雨停止后 2 d，上阶、下阶土壤水分含量一直保持在较稳定水平，随时间变化的变幅较小，上阶降低 2.71%，而坡面在降雨结束后迅速变化，上坡降低 9.04%，中坡降低 10.41%。[结论] 等高反坡阶具有较强拦蓄地表径流，保墒保水的功能，且其对土壤水分具有缓释、再分配作用，主要作用对象为深度 20—40 cm 土层。

关键词：等高反坡阶；土壤水分；空间分布；松华坝水源区

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2016)01-0057-04　　**中图分类号**：S157.2

文献参数：武军，王克勤，华锦欣. 松华坝水源区等高反坡阶对坡耕地雨季土壤水分空间分布的影响[J]. 水土保持通报，2016，36(1)：57-60. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.011

Impacts of Contour Reverse-slope on Spatial Distribution of Soil Moisture in Sloping Farmland During Rain Season in Water Source Area of Songhuaba Reservoir

WU Jun, WANG Keqin, HUA Jinxin

(*School of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan* 650224, *China*)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to analyze the impacts of contour reverse-slope on the spatial distribution of soil moisture in sloping farmland during rain season serious in order to provide theoretical basis for the improvement of the contour reverse-slope in water source area of Songhuaba reservoir in Kunming City. [Methods] We set up contour reverse-slope in the sloping farmland in Yizhe valley, and observed the soil moisture content at different soil depth in different positions of slope during different periods. [Results] Soil moisture content in contour reverse-slope maintained at stable level after 2 rainy days. At the upper reverse-slope, it reduced by 2.71%. In contrast, soil moisture changed greatly in different positions of slope. Soil moisture at upslope reduced by 9.04%, while at the middle slope, reduced by 10.41%. [Conclusion] Contour reverse-slope can retain soil surface runoff and moisture, and influence the distribution of soil moister in 20—40 cm depths of soil layer.

Keywords: **contour reverse-slope; soil moisture; spatial distribution; Songhuaba resevoir**

在干旱半干旱地区，山区面积占区域总面积的比例较大，以云南为例，其山区面积占了总区域面积的 94%，且由于水分的极不均匀分布，极大的影响了山区农业的发展，加之山区降雨时间集中、降雨强度大、降雨时间短等因素，导致山区水土大量流失，进一步加剧了山区土壤保水、保墒能力的下降[1-3]。

坡耕地是云南山区农作主要利用地类，由于无节制利用、土壤保墒性能差，造成大量的水分损失，导致了各水库蓄水一定程度地减少[4-5]。李艳梅等[6]对云南干热河谷区坡耕地进行水平台、水平沟微地形改造，其研究认为，此类微地形改造技术可以增加降雨在土壤中蓄存的时间，可以使其充分地被植物吸收利用。另外，在黄土高原半干旱区，也有很多相似的研究，如对人工造林中布置鱼鳞坑，对其内部、上部、侧面进行典型取样并分析，得出鱼鳞坑具有较强的集雨、保水的效果[7-10]；蔺君等[11]也研究了竹节式聚水沟的集水、储水功能，也发现了类似的规律，且得出竹节式聚水沟具有更好的水保效益。赵合理等[12]在研

收稿日期：2014-12-03　　**修回日期**：2014-12-05

资助项目：国家自然科学基金项目“微区域集水系统控制云南山区农业面源污染的机理研究”(30660037)

第一作者：武军(1987—)，男(汉族)，云南省昭通市人，硕士研究生，研究方向为生态学环境生态。E-mail：wjun554203138@qq.com。

通讯作者：王克勤(1964—)，男(汉族)，甘肃省庄浪县人，博士，教授，博士生导师，主要从事小流域环境综合治理研究。E-mail：wangkeqin7389@foxmail.com。

究了采用不同水保措施处理后的丘陵沟壑区内降水在坡面进行的再分配情况后，证明了等高反坡阶能不断地截断坡面地表径流，改变其在坡面的再分配方式。李秋芳等[13]在对云南澄江尖山河小流域坡耕地布设了等高反坡阶、草带的坡耕地进行减流、减沙研究，结果表明，等高反坡阶的减流效益指数平均达0.57，草带的减流效益指数平均达0.79，印证了等高反坡阶对地表径流有显著的削减作用。

为探究等高反坡阶对坡耕地土壤水分空间分布的影响及其影响因素，本研究将对坡耕地进行等高反坡阶的布设，并对不同坡面、阶面及其不同土层深度不同时期土壤水分状况进行观测，后对影响因素进行分析，以期为该区域内等高反坡阶的改造、适用条件提供理论依据。

1 研究区概况

松华坝水源保护区是中国第一个饮用水源保护区，径流总面积约 6.30×10^4 km^2，总库容达到 2.19×10^8 m^3，每年平均可为昆明城区供水 1.20×10^8 m^3，占昆明总供水量的1/2以上。是昆明最重要的饮用水源地，也是滇池水体交换的重要水源。

迤者小流域（北纬25°12′48″—24°14′43″，东经102°44′51″—102°48′37″）是松华坝水源保护区主要汇入子流域之一，其呈不规则纺锤形，南北长6.7 km，土地总面积13.26 km^2，为滇池水系盘龙江一级支流源头区，地势总体西北高东南低，最高海拔2 589.5 m，位于流域西南部野猫山，最低海拔2 010 m，位于流域河流出口处，相对高差479.5 m，平均海拔2 220 m。流域内多年平均降雨量925.6 mm，年径流总量 6.74×10^6 m^3，主要河流牧羊河，在流域内全长2.6 km，河道比降7.0‰。流域内现有水利设施少，水资源利用率低。

2 研究方法

2.1 试验地布置

在迤者小流域研究区内选取坡耕地布设水平投影面积为5 m×20 m的径流小区，在小区内布置了2条等高反坡阶，两条等高反坡阶间距为10 m，阶面宽约1.2 m，坡角为5°。

2.2 测定方法

于2014年9月先后在小区运用土钻法进行随机取样，由于所栽种作物均为栽种一年，根系较短，因此采样深度选取0—20，20—40 cm，共2层。根据坡位，分别将采样点命为上坡、上阶、中坡、下阶、下坡5个，每个坡位每个土层取3个平行样。采样前称取铝盒重量并做好标记，野外采集土壤样品后当场测量鲜土重量，后将土样带回实验室以烘干法对其土壤含水量进行测量。为避免取样对土壤进行松动后造成误差，每次取样后均用工具将土壤进行一定程度的夯实，且尽量避免在同一点重复采样。共采取3次土壤样品，其中无前期降雨1次，为9月11日，有前期降雨且产生地表径流较多1次，为9月19日，降雨后1次，为9月22日。研究区布设有自计雨量计，且每次降雨后，均有小区径流量的观测。降雨采取观测时间为前日8时至当日8时。

本研究主要采用Excel软件对数据进行分析和处理。

3 结果与分析

3.1 等高反坡阶对坡面土壤水分水平分布的影响

降雨时（如图1—2所示），0—20 cm土层小区土壤含水率大小顺序为：上阶＞下阶＞坡中＞坡上＞坡下；20—40 cm土层，小区土壤含水率大小顺序为：上阶＞下阶＞坡中＞坡上＞坡下。主要因素是由于前期土壤处于缺水状态，在降雨初期，土壤未达到饱和入渗，且小区种植了保水保墒能力稍强的玉米，降水仅有部分形成地表径流，降雨过程中，由于等高反坡阶可以显著拦截降水及径流，更多的降水形成入渗，向土壤深层运输。

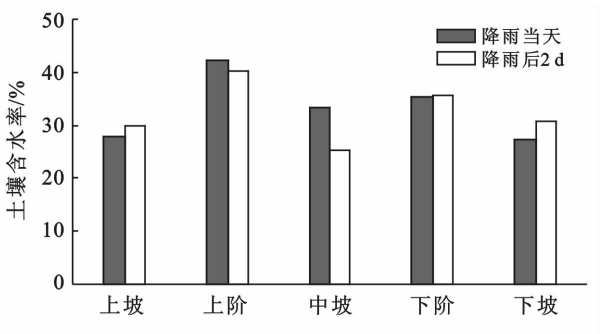

图1 0—20 cm土层土壤含水率

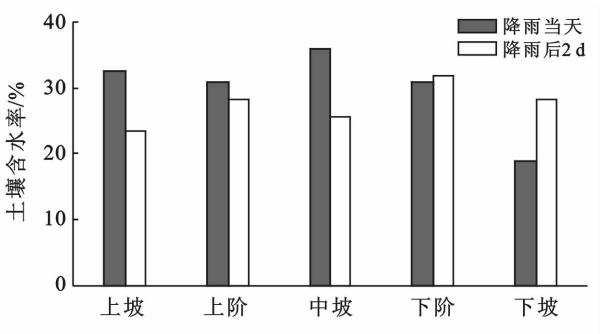

图2 20—40 cm土层土壤含水率

降雨后2 d，如图1—2所示，0—20 cm土层，小区土壤含水率大小顺序为：上阶＞下阶＞坡下＞坡上＞坡中；20—40 cm土层，小区土壤含水率大小顺序为：下阶＞坡下＞上阶＞坡中＞坡上。出现这样结果

的原因,主要是由于前期降雨充足,土壤达到了饱和状态,降雨后,气温升高,表层土壤形成了较大蒸发,但由于小区的等高反坡阶将拦蓄的水分在深层土壤再分配至下部坡地,更有益于作物的生长,说明等高反坡阶对土壤水分具有一定的再分配的功能。

综上所述,等高反坡阶具有拦蓄降水及径流的功能。

3.2　等高反坡阶对坡面土壤水分垂直分布的影响

前期有大量、长时降雨时(如图 3 所示),在小区上坡、坡中取样点,20—40 cm 土层土壤含水率明显高于 0—20 cm 土层,上阶、下阶、下坡取样点 20—40 cm 土层土壤含水率低于 0—20 cm 土层。说明在前期有大量降水且产生大量径流时,等高反坡阶依然可截留住径流,供给给土壤,其对土壤水分有显著的再分配作用,反坡阶内的水分会在深层形成壤中流向下运移,进行水分的再分配。

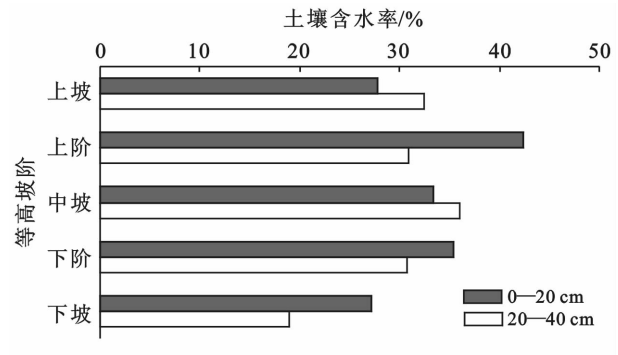

图 3　降雨当天各土层土壤含水率

距前期降雨 2 d 后(如图 4 所示),在 1# 小区内,仅坡中取样点,20—40 cm 土层土壤含水率远高于 0—20 cm 土层,坡上取样点 2 土层土壤含水率相近,其余均为 20—40 cm 土层土壤含水率高于 0—20 cm 土层。在 2# 小区,坡上、坡中、坡下取样点 20—40 cm 土层的土壤含水率远高于 0—20 cm 土层,其余取样点也是 20—40 cm 土壤含水率高,但是 2 土层差异较小。这证明了等高反坡阶在表层将降雨和径流截留,且主要作用层在 20—40 cm 以下土层,进一步在深层土壤中进行再分配,使得土壤具有更强的保水效果,更有益于作物的生长。

综上所述,等高反坡阶可以将水分保持在较深土层,在 20—40 cm 对土壤水分具更明显的再控制、再分配能力。

3.3　等高反坡阶对坡面土壤水分时间分布的影响

如图 5 所示,从时间尺度上看,在 0—20 cm 土层,无论降雨与否,雨量大小,阶面区土壤水分含量均较高,且降雨后其土壤含水率有小幅变化,上阶区仅降低 2.07%;其余各点随时间变幅较大,且降雨后迅速变化:上坡增加 2.11%,中坡降低 8.05%,这说明等高反坡阶对截留的降水有缓释、再分配作用。

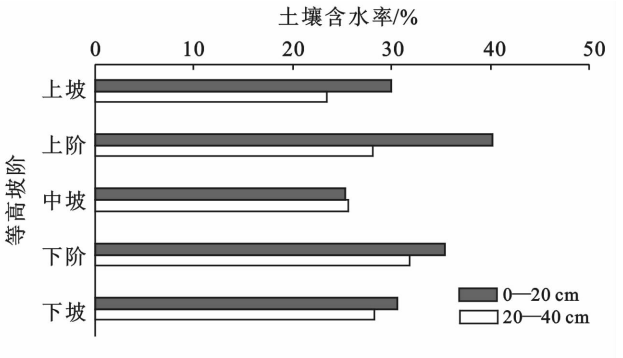

图 4　降雨后 2 d 各土层土壤含水率

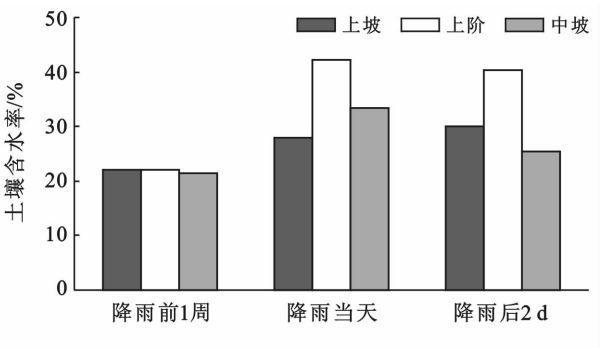

图 5　0—20 cm 土层不同时期土壤含水率

由图 6 可以看出,在 20—40 cm 土层,阶面土壤水分含量一直保持在较稳定水平,随时间变化的变幅较小,上阶区仅降低 2.71%;而其余区域在降雨结束后迅速变化:上坡降低 9.04%,中坡降低 10.41%,这充分证明,等高反坡阶能在深层将土壤缓释和再分配到下部土壤。

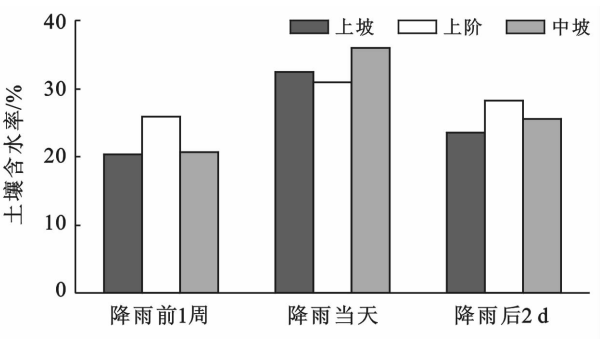

图 6　20—40 cm 土层不同时期土壤含水率

综上所述,本研究表明等高反坡阶在 20—40 cm 对土壤水分有明显的再控制、再分配能力,在降雨结束后一定时间内,等高反坡阶再控制、再分配能力可以使深层及坡面下部土壤水分保持较高水平。

4　讨论与结论

4.1　讨 论

本研究结果表明等高反坡阶的水土保持效益在坡度较小的地块较明显,主要是由于坡度小,水平阶

的拦蓄作用能得到更大的发挥，使得土壤保蓄住更多的降水，且对其进行更有效的再分配。小坡度耕地相应取样点的土壤水分含量整体较大坡度耕地高，主要是由于若坡度较大，降水后会形成径流，难以使更多的水分下渗。

有研究表明，水平阶整地是黄土高原干旱区、半干旱区—丘陵沟壑区主要的整地模式，它能显著的增加40—180 cm土层的土壤水分含量，可以为旱季作物的生长提供更多的深层水分[14]，这与本研究20—40 cm土层为反坡阶主要作用层的结论类似。

梁永超等[15]在对水稻进行覆膜旱作生产节水机理研究时发现，水平沟能汇集更多的降水径流，但是若在坡度较大的田地，加之所采用的是土质土埂，暴雨条件下，水平沟很难将拦蓄的径流分配到深层土壤，李艳梅等[6]对不同整地方式对云南干热河谷坡地土壤水分环境影响时发现，在20°坡面，水平沟仅能改善0—40 cm土层的土壤水分状况，本研究也发现，在15°坡面上，等高反坡阶对土壤水分含量的改善和再分配效果显著。

综上所述，在干旱区、半干旱区、水源保护区等区域可以尽量选择坡度较小的耕地进行耕作，且配以等高反坡阶、水平沟、鱼鳞沟、聚水沟等水土保持措施，如此便能更加充分利用降水，即有利于农作的增产[16-17]，又有利于土壤水分的保持，进一步便可以增加区域的地下水的储量[18-19]，能改善区域小气候，能促进小生态系统的平衡。

4.2 结论

(1) 水平分布、时间分布的研究结果表明，等高反坡阶具有较强的拦蓄降水、保墒保水功能。无论降雨与否(如图1—2所示)，阶面的土壤水分含量高于坡面其余部位。等高反坡阶的缓释作用会将保蓄的水分在各土层进行一次再分配(如图5—6所示)，阶面的土壤含水率变幅较小，而且较长时间保持在高含水率水平，其余降雨后急剧变化，不能长时间保持水分。

(2) 垂直分布的研究结果表明，等高反坡阶可以将水分保持在较深土层，且主要作用层为20—40 cm土层。在20—40 cm对土壤水分具更明显的再控制、再分配能力，且坡地坡度越小，再分配能力就越强。如图3—4所示，等高反坡阶会将保蓄的水分在各土层进行一次再分配，向坡面下部逐渐输送，使得反坡阶下部坡面水分含量高于上部。

[参 考 文 献]

[1] Douglas C L, King K A, Zuzel J F. Nitrogen and phosphorus in surface runoff and sediment from a wheat-pea rotation in Northeastern Oregon[J]. Journal of Environmental Quality, 1998,27(5):1170-1177.

[2] King C, Leeomte V, Bissonnais Y L, et al. Remote-sensing data as an alternative inpute for the 'STREAM' runoff model[J]. Catena, 2005(62):125-135.

[3] 张盛华，王克勤. 云南山区微区域集水系统的经济效益评价[J]. 绿色科技，2014(1):164-166.

[4] Sharpley A N, Smith S J, Naney J W, et al. Environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus use[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998,35(5):812-817.

[5] Sharpley A N, Menzel R G. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment[J]. Advances in Agronomy, 1987(41):297-324.

[6] 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):15-49.

[7] 李萍，朱清科，赵磊磊，等. 黄土丘陵沟壑区鱼鳞坑雨季土壤水分状况[J]. 农业工程学报，2011,27(7):76-81.

[8] 穆兴民. 黄土高原土壤水分与水土保持措施相互作用[J]. 农业工程学报，2000,16(2):41-45.

[9] 张北赢，徐学选，刘文兆. 黄土丘陵沟壑区不同水保措施条件下土壤水分状况[J]. 农业工程学报，2009,25(4):54-58.

[10] 王晶，朱清科，云雷，等. 黄土高原不同规格鱼鳞坑土壤水分状况研究[J]. 水土保持通报，2011,31(6):76-80.

[11] 蔺君. 黄土丘陵沟壑区竹节式聚水沟水分特征研究[D]. 陕西 杨凌：西北农林科技大学，2013.

[12] 赵合理，蒋定生. 不同水土保持措施对坡面降水再分配的影响[J]. 水土保持研究，1996,3(2):75-83.

[13] 李秋芳，王克勤，王帅兵，等. 不同治理措施在红壤坡耕地的水土保持效益[J]. 水土保持通报，2012,32(6):196-200.

[14] Liu Xiuhua, He Baolin, Li Zaoxia, et al. Influence of land terracing on agricultural and ecological environment in the loess plateau regions of China[J]. Environmental Earth Sciences, 2011,62(4):797-807.

[15] 梁永超，胡锋，杨茂成，等. 水稻覆膜旱作生产节水机理研究[J]. 中国农业科学，1999,32(1):26-32.

[16] 李萍，朱清科，谢静，等. 半干旱黄土区水平阶整地人工油松林地土壤水分和养分状况[J]. 水土保持通报，2012,32(1):60-65.

[17] 苏年贵，张定一，冀秀梅. 隔坡水平沟土壤水分变化规律及利用效果[J]. 山西农业科学，2005,33(3):54-57.

[18] 董彦丽，张富，杨彩红，等. 半干旱区微集水系统土壤水分调控效果研究[J]. 水土保持通报，2013,33(5):35-39.

[19] 马欢，朱清科，赵维军，等. 陕北黄土区缓台土壤水分空间异质性[J]. 水土保持通报，2014,34(2):192-203.