

干湿两季等高绿篱红壤浅沟坡面土壤水分空间变化

彭艳平¹ 高超² 张旭¹ 郭忠录¹ 蔡崇法¹ 赵书华¹

1. 华中农业大学水土保持研究中心, 武汉 430070; 2. 湖北省水土保持监测中心, 武汉 430071

摘要 以红壤丘陵区等高绿篱浅沟坡面为研究对象, 比较干湿两季有无绿篱浅沟坡面土壤水分的空间分布, 并对试验小区的径流量以及土壤侵蚀量进行对比。结果表明: 在旱季, 小区土壤含水率变化随着土层加深均呈现增长的趋势; 在雨季, 无绿篱小区土壤含水率随着土层加深呈现增长的趋势, 而绿篱小区土壤含水率表现为30 cm土层>45 cm土层>15 cm土层; 绿篱小区的土壤水分变异系数随着土层加深呈降低趋势, 相同土层干湿两季绿篱小区土壤水分变异系数均大于无绿篱小区土壤水分变异系数。在干湿两季, 坡中位置绿篱小区土壤含水率始终大于无绿篱小区土壤含水率, 坡上和坡下位置上绿篱小区土壤含水率小于无绿篱小区土壤含水率, 种植等高绿篱的坡面保水保土效果明显, 使植物在干湿两季能充分利用浅沟坡面水分, 对缓解季节性干旱、保持水土起到显著作用。

关键词 红壤; 等高绿篱; 干湿季节; 土壤水分; 空间差异; 水土保持

中图分类号 S 152.7 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)02-0061-06

我国红壤丘陵区地处热带、亚热带, 水热资源丰富, 年降水量超过1 200 mm, 以缓坡地(6°~15°)为主要地貌特征, 是我国自然生产潜力最高的地区。由于降雨分配不均、伏旱和秋旱频繁以及长期以来对土地资源不合理的开发与利用, 水土流失严重。季节性干旱和水土流失已成为红壤丘陵区农业生产的主要障碍因素^[1]。因此, 针对区域季节性干旱, 开展红壤丘陵区侵蚀退化控制技术的研究具有重要的意义。

等高绿篱技术是国内外广泛采用的一种坡耕地植被恢复和水土流失控制技术, 由于其能减缓坡面水流速度, 增加入渗^[2], 具有明显的水土保持效应, 得到了广泛的应用^[3-9]。土壤水分是影响土壤侵蚀的重要因素, 但目前有关等高绿篱浅沟坡面土壤水分时空分布的研究相对较少, 了解等高绿篱坡面土壤水分的季节变化对于有效利用坡面水分、减少水土流失及增加农民收入有着重要意义。笔者针对红壤丘陵区季节性干旱的问题, 立足于我国南方侵蚀严重的红壤坡面上密度不等的浅沟, 对等高绿篱控制下浅沟坡面的干湿两季土壤水分进行研究, 探讨等高绿篱浅沟坡面对干湿两季土壤水分的空间分布

的影响。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点位于湖北省咸宁市贺胜桥。咸宁市地处湖北省东南部, 位于东经113°41'~114°58', 北纬29°15'~30°25', 该地区代表性土壤为红壤, 分布于海拔50~500 m的丘陵低山区, 发育于多种母质, 其中以第四纪粘土和泥质类页岩为主要成土母质, 属于中亚热带向北亚热带过渡的气候区, 呈较明显的半湿性季风气候特点。该地区夏季盛行偏南风, 高温多雨, 冬季盛行偏北风, 寒冷干燥, 季节性干旱明显。年平均气温16.8℃, 降水量为1 356~1 544 mm, 多集中于春季和夏季, 梅涝和伏旱频发。

1.2 试验设计

试验用土为第四纪红色粘土发育的红壤, 坡度为15°, 用水泥挡板围成径流小区。在径流小区中间制作浅沟锥形模型, 浅沟沟底与两侧沟坡高差0.2 m, 沟宽0.4 m, 浅沟的横断面为弧形(图1)。小区长为10.0 m, 宽2.0 m, 在小区内等高种植两带香根草绿篱, 每带2行, 行距20 cm, 株距20 cm,

收稿日期: 2012-10-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901132, 40671114)

彭艳平, 硕士研究生, 研究方向: 水土保持与GIS应用. E-mail: pengyanping@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 郭忠录, 博士, 副教授. 研究方向: 水土保持与生态恢复. E-mail: zgguo@mail.hzau.edu.cn

2 行绿篱植株交错栽植,以增加绿篱密度,篱带间距为 2.8 m。从等高绿篱小区坡顶到坡底,纵向(坡长方向)上分别于 1.00、2.00、3.65、4.55、5.25、5.95、6.65、7.55 m 等高布设监测点,横向上(垂直于坡长方向)分别从浅沟中间(小区中部)向两侧以 20 cm 为单位分别布设 3 条监测线小区,2 个方向监测线的交点为监测点的布设位置。小区监测点如图 2 所示。无绿篱小区沿坡顶向下依次在 1.00、2.00、3.30、4.90、6.30、7.55 m 处布置观测点,共 42 个。每组监测点从表层向下分 0~15、15~30、30~45 cm 3 层以进行不同层面土壤水分的监测。用时域反射仪(TDR)测量小区各个监测点的各个土层的

土壤体积含水率,监测期从 2007 年 5 月到 2008 年 1 月,其中降雨期每 10 d 测量 1 次,非雨期每 15 d 测量 1 次。以每天 20:00 为分界,用自记雨量计测定降雨量和降雨强度。用径流池统计降雨产生的径流,并将池内泥沙混匀的水样带回室内测定土壤侵蚀量。

根据历史资料以及观测,试验点 2007 年 5 月至 2007 年 8 月降雨集中,为雨季;2007 年 9 月至 2008 年 1 月降雨很少,为旱季,文中所用雨季的数据为 2007 年 5 月至 2007 年 8 月 2 个小区土壤含水量的平均值,旱季则为 2007 年 9 月至 2008 年 1 月 2 个小区土壤含水量的平均值。

1.3 数据处理

在 SPSS 中进行数据的统计分析,运用 Golden Software Surfer 8.0 来进行小区土壤水分插值计算以及网格、土壤水分走向的成图。

2 结果与分析

2.1 干湿两季浅沟坡面不同土层土壤水分变异

土壤水分的垂直变化规律主要受坡面降水入渗再分布以及作物和土壤向上的蒸散量 2 个过程所支配,对坡面来说,该过程又受多种因素影响,如坡向、坡位、土壤物理性质、气候特征、植被类型及生长情况等。试验结果显示,在旱季,绿篱小区土壤含水率从表层到底层呈现增长的趋势,表层 0~15 cm 土层土壤含水率为 18.55%,30~45 cm 土层的土壤含水率为 21.87%;无绿篱小区土壤含水率的变化趋势与绿篱小区一致。在雨季,降水不断补充试验小区表层土壤水分,无绿篱小区土壤含水率的变化随土层加深呈现增长的趋势,0~15 cm 土层的土壤含水率为 20.60%,30~45 cm 土层的土壤含水率为 22.73%,而相对应的绿篱小区不同土层土壤含水率表现为 30 cm 土层 > 45 cm 土层 > 15 cm 土层。

在各个小区内,各土层土壤含水率均表现为雨季大于旱季(表 1)。但在旱季则表现为绿篱小区各土层土壤含水率小于无绿篱小区土层土壤含水率,这主要是绿篱生长吸收水分、蒸腾作用以及土壤本身蒸发作用的结果。对于 30~45 cm 土层,在雨季有无等高绿篱对土壤含水率影响不大。但在旱季,有绿篱小区土壤含水率小于无绿篱小区土壤含水率,说明绿篱生长能有效利用土壤深层水分。变异系数从 15~30 cm 土层呈降低趋势,且在相同土层

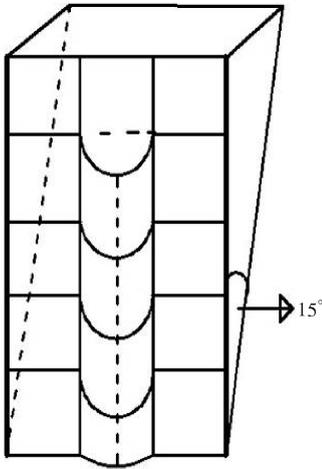


图 1 小区俯视图

Fig.1 The top view of the trial area

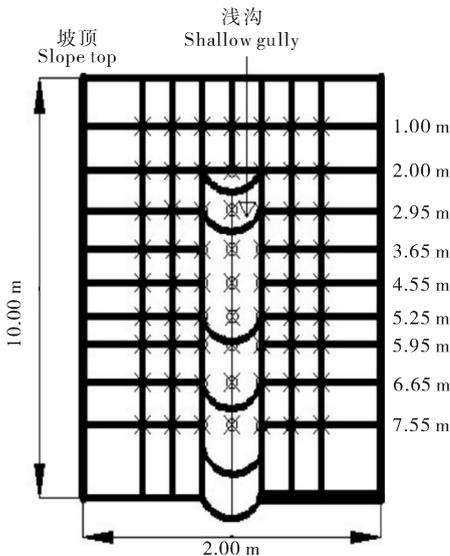


图 2 小区监测点布设图

Fig.2 Plots monitoring points layout diagram

的干湿两季,绿篱小区土壤水分变异系数均大于无绿篱小区土壤水分变异系数,说明绿篱的存在影响土壤水分的再分配,绿篱的生长以及对土壤水分的拦挡、贮存提高了各土层土壤水分的利用率。

表 1 试验小区不同土层干湿两季浅沟坡面土壤水分¹⁾

Table 1 The soil moisture of different soil horizons in slope surface with ephemeral gullies by contour hedgerow in the wet and dry seasons

土层深度/cm Soil depth	小区类型 Plot	季节 Season	样本数 Sample number	均值/% Mean	标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient of variation	95%置信区间/% 95% confidence interval
15	A	W	63	23.16	3.61	15.59	21.40~26.22
		D	63	18.55	4.06	21.89	16.44~22.67
	B	W	63	23.26	2.99	12.85	21.54~25.87
		D	63	20.60	3.65	17.72	17.79~23.41
30	A	W	63	24.18	2.52	10.42	23.25~26.22
		D	63	20.67	2.25	10.89	18.94~22.40
	B	W	63	23.95	1.93	8.06	23.23~25.51
		D	63	21.95	2.08	9.48	20.35~23.55
45	A	W	56	23.71	1.12	4.72	23.04~24.29
		D	56	21.87	1.08	4.94	20.04~21.70
	B	W	56	23.33	0.90	3.86	22.89~24.10
		D	56	22.73	0.99	4.36	21.36~22.88

1)A:有绿篱小区 Plot with contour hedgerow; B:无绿篱小区 Plot without contour hedgerow; W:雨季 Wet season; D:旱季 Dry season. 下同 The same as below.

2.2 干湿两季浅沟不同坡位土壤水分变异

将试验小区分为坡上、坡中、坡下 3 个部分,对小区内的 3 个坡位土壤含水率进行分析(表 2)。坡中位置在干湿两季,绿篱小区土壤含水率始终大于无绿篱小区土壤含水率,坡上和坡下位置有绿篱小区土壤含水率小于无绿篱小区土壤含水率,主要是由于雨季降水量较大,等高绿篱发挥了保水截流作用,使得坡中部的水分含量比较高,同时由于微地形、土壤质地、土壤含水率、植被以及降雨强度的影响,坡面各处径流量不相等,造成土壤含水率沿坡面

产生差异。

各个不同坡位土壤含水率的变异系数如表 2 所示。土壤含水率变异系数最大的是无绿篱小区旱季坡中位置,其次是其旱季坡下位置,再次为绿篱小区旱季坡上位置。由于在旱季降雨相对较少,坡中位置光照面积较大、蒸发作用较强烈,且无绿篱的蓄水保水作用,导致坡中旱季无绿篱小区的土壤含水率变异系数最大。绿篱小区由于绿篱的作用,土壤含水率始终保持在一个变化相对较小的范围内,未受降雨、光照等影响而造成较大的起伏变化。

表 2 试验小区干湿两季不同坡位土壤水分特征¹⁾

Table 2 Soil moisture characteristics on different slope positions of slope surface with ephemeral gullies by contour hedgerow in the wet and dry seasons

小区类型 Plot	坡位 Slope position	季节 Season	样本数 Sample number	均值/% Mean	标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient of variation	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	95%置信区间/% 95% confidence interval
A	坡上 Upper slope	W	14	23.59	1.47	6.23	0.47	-0.41	21.76~25.42
		D	14	20.79	3.79	18.23	-0.94	-0.78	16.09~25.50
B	坡上 Upper slope	W	14	24.43	3.23	13.22	-0.32	-1.11	23.78~25.09
		D	14	21.78	3.73	17.13	-0.08	-0.98	21.02~22.53
A	坡中 Middle slope	W	35	26.72	1.53	5.73	0.71	-0.19	21.82~25.63
		D	35	22.34	3.90	17.46	-0.32	-3.00	14.50~24.18
B	坡中 Middle slope	W	35	23.35	4.06	17.39	-0.22	-0.60	22.68~24.02
		D	35	21.12	4.20	19.89	-0.76	2.93	20.43~21.81
A	坡下 Lower slope	W	14	22.57	1.66	7.35	1.76	3.76	20.51~24.63
		D	14	16.94	3.45	20.37	0.65	-0.59	12.65~21.22
B	坡下 Lower slope	W	14	23.67	4.15	17.53	-0.19	-0.19	22.17~24.58
		D	14	20.89	4.04	19.34	0.10	-1.10	19.72~22.06

1)浅沟坡上部为 0~2.00 m Upper slope of shallow gully 0-2.00 m; 浅沟坡中位为 2.00~6.65 m Middle slope of shallow gully 2.00-6.65 m; 浅沟坡下部为 6.65~10.00 m Lower slope of shallow gully 6.65-10.00 m.

2.3 干湿两季浅沟坡面土壤水分各个方向变异

等高绿篱浅沟坡面在旱季各个方向上的土壤含水率都小于同一地点雨季的土壤含水率,坡长方向(从坡顶到坡底)上土壤含水率的变异系数大于垂直坡长方向上的土壤含水率变异系数,并且都表现为弱变异性(表 3)。

垂直于剖面方向上,旱季等高绿篱土壤含水率的变异系数为 13.13%,表现为中等变异;雨季土壤含水率的变异系数为 5.42%,呈现为弱变异性;在二维平面上,小区雨季土壤含水率的变异系数为

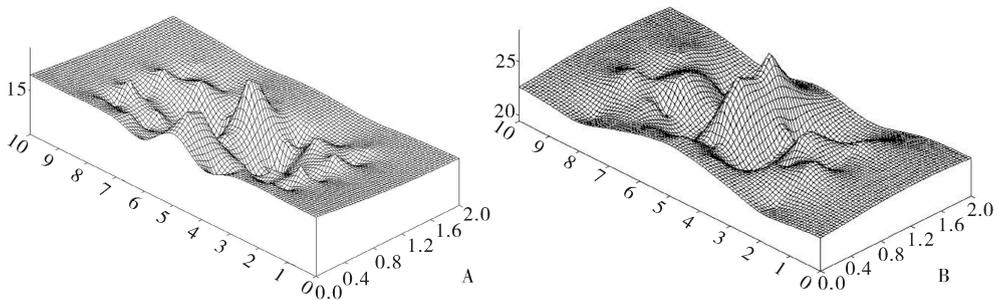
5.64%,表现为弱变异性,旱季土壤含水率的变异系数为 10.18%,呈现中等变异性,相对变异程度较大。在试验小区各个方向上,旱季坡面上土壤含水率的变异系数均大于雨季同方向上的土壤含水率变异系数。不论是旱季还是雨季,在坡长方向和垂直于坡长方向上,绿篱小区土壤含水率变异系数都大于无绿篱小区。

为了直观表现土壤水分的分布,结合浅沟坡面各个监测点位干湿两季土壤水分的平均值,利用 Surfer 8.0 形成水分分布图(图 3)。

表 3 干湿两季等高绿篱浅沟坡面土壤水分各方向的统计分析特征值

Table 3 The characteristic value of soil moisture in all directions of slope surface with ephemeral gullies by contour hedgerow in the wet and dry seasons

项目 Item	季节 Season	样本数 Sample number	均值/% Mean	标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient of variation
坡长方向 Direction of its slope	D	7	15.34	0.97	6.47
	W	7	22.86	0.96	4.20
垂直坡长方向 Vertical direction of the slope	D	9	15.34	0.84	5.53
	W	9	22.86	0.82	3.59
垂直剖面方向 Soil profile with the increase of the depth	D	3	15.36	2.04	13.13
	W	3	22.86	1.24	5.42
二维平面 Two-dimensional plane	D	63	15.34	1.54	10.18
	W	63	22.86	1.29	5.64
三维立体空间 Three-dimensional space	D	182	15.33	2.98	19.43
	W	182	22.86	2.91	12.73
A	D	63	21.55	2.49	11.55
	W	63	23.51	2.07	8.80
B	D	182	21.30	4.03	18.92
	W	182	23.72	3.84	16.19



A:旱季坡面土壤水分分布 Distribution of soil moisture in dry season; B:雨季坡面土壤水分分布 Distribution of soil moisture in wet season.

图 3 等高绿篱小区干湿季节土壤水分分布图

Fig. 3 The distribution of soil moisture in contour hedgerow intercropping and ephemeral gully in wet and dry seasons

2.4 浅沟坡面土壤侵蚀量变化

表 4 为自然降雨条件下试验小区的土壤流失情

况。由表 4 可知,绿篱小区与无绿篱小区相比土壤侵蚀量至少下降 19.44%,最高下降 51.01%,径流

下降幅度范围为 4.08%~13.59%;表明绿篱模式对于控制浅沟坡面的土壤侵蚀和减少地表径流起到了一定的作用,种植等高绿篱坡面的减沙效果比减流效果要明显。

表4 浅沟坡面土壤流失量特征

Table 4 The characteristic of amount of soil erosion of slope surface with ephemeral gullies

时间 Time	雨量/mm Rainfall	小区 Plot	径流量/mm Runoff	侵蚀量/(t/km ²) Erosion amount
5月 May	73.1	A	32.31	3.01
		B	33.63	3.60
6月 June	63.0	A	50.93	12.74
		B	56.18	18.49
7月 July	78.1	A	28.89	7.40
		B	31.36	11.18
8月 August	55.5	A	26.94	6.69
		B	30.60	9.57

3 讨论

研究^[10-11]表明,等高绿篱技术在减少水土流失、提高土壤肥力、减少面源污染等方面有很好的作用。香根草作为一种理想的水土保持绿篱,国内外学者对其减少土壤径流和土壤养分的功能方面进行了大量的试验和研究^[12-14]。降雨后,入渗的水分再分布过程受人为、气象多种因素的影响^[15],合理栽植的香根草可分散径流和减少径流量,降低降雨与径流对坡面的冲击,对土壤水分的再分布有一定的影响。有关土壤水分在坡面不同位置的分布特征和变异规律,国内外学者做了大量研究,但所得研究结果不尽相同。胡伟等^[8]对黄土高原退耕地坡地土壤水分空间变异的研究表明,土壤水分沿坡长方向从坡顶到坡脚表现出先减小后增大的趋势,变异程度坡上>坡中>坡下。陈洪松等^[16]对黄土高原沟壑区农田土壤水分动态变化的研究表明,雨季、旱季农田土壤水分动态变化趋势相同,但浅层土壤水分变化幅度较大,尤其是降雨产生径流时;坡位对农田土壤水分动态变化也有一定的影响,观测期末雨季、旱季土壤蓄水增量为坡上<坡中<坡下,坡的中下部土壤储水量也较坡上部大。Stengberge等^[17]研究认为0~10 cm表层土壤水分沿坡面纵向不存在空间变异。而本研究供试土壤为第四纪红色粘土发育的红壤,质地黏重,具有红白相间的透水性较弱的网纹层,其性质与黄土截然不同,又由于浅沟坡面植物篱的作用,故得出的研究结果有差异。

微地形以及植物篱影响了干湿季节土壤水分的空间分布,在目前条件下,通过大范围的改变气候来治理季节性干旱、控制水土流失是不可能的。合理的种植植物篱能有效地控制土壤水分的运移,减少水土流失和季节性干旱对人们生产生活的影响。

参 考 文 献

- [1] 史志华,闫峰陵,李朝霞,等.红壤表土团聚体破碎方式对坡面产流过程的影响[J].自然科学进展,2007,17(2):217-224.
- [2] 史东梅,卢喜平,刘立志.三峡库区紫色土坡地桑基植物篱水土保持作用研究[J].水土保持学报,2005,19(3):75-79.
- [3] PANSAK W, HILGER T, LUSIANA B, et al. Assessing soil conservation strategies for upland cropping in Northeast Thailand with the WaNuLCAS model[J]. Agroforestry Systems, 2010,79(2):123-144.
- [4] 许峰,蔡强国,吴淑安,等.坡地农林复合系统土壤养分时间过程初步研究[J].水土保持学报,2000,14(3):46-51.
- [5] LIN C W, TU S H, HUANG J J, et al. The effect of plant hedgerows on the spatial distribution of soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple-soil area of China[J]. Soil and Tillage Research, 2009,105(2):307-312.
- [6] 陈海滨,孙长忠,安锋,等.黄土高原沟壑区林地土壤水分特征的研究(I)——土壤水分的垂直变化和季节变化特征[J].西北林学院学报,2003,18(4):13-16.
- [7] 黄道友,彭廷柏,陈桂秋,等.亚热带红壤丘陵区季节性干旱成因及其发生规律研究[J].中国生态农业学报,2004,12(1):124-126.
- [8] 胡伟,邵明安,王全九.黄土高原退耕地土壤水分空间变异性研究[J].水科学进展,2006,17(1):74-81.
- [9] 郭焱,熊泽海.亚热带红壤丘岗区土壤水分动态的定位研究[J].土壤,1996(1):42-45.
- [10] 卜崇峰,蔡强国,袁再健.湿润区坡地香根草植物篱农作措施对土壤侵蚀和养分的影响[J].农业工程学报,2006,22(5):55-60.
- [11] 王玲玲,何丙辉,李贞霞.等高植物篱技术研究进展[J].中国生态农业学报,2003,11(3):131-133.
- [12] SUDHISHRI S, DASS A, LENKA N K. Efficacy of vegetative barriers for rehabilitation of degraded hill slopes in eastern India[J]. Soil & Tillage Research, 2008,99(1):98-107.
- [13] 许峰,蔡强国,吴淑安.等高植物篱在南方湿润山区坡地的应用——以三峡库区紫色土坡地为例[J].山地学报,1999,17(3):193-199.
- [14] PAN C Z, MA L, SHANGGUAN Z P. Effectiveness of grass strips in trapping suspended sediments from runoff[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2010,35(9):1006-1013.
- [15] 陈洪松,邵明安.黄土区坡地土壤水分运动与转化机理研究进展[J].水科学进展,2003,14(4):513-520.

- [16] 陈洪松,郝明德,宋孝玉.黄土高原沟壑区农田土壤水分动态变化分析[J].水土保持研究,2003,10(1): 92-94.
- [17] STENGBERGE H F M, STROOSNIJDER L, BURROUGH

P A, et al. Spatial variability of physical soil properties influencing the temperature of the soil surface[J]. Agricultural Water Management, 1983, 6(2/3): 213-226.

Spatial variation of soil water in red soil slope-land with ephemeral gullies under contour hedgerow in wet and dry seasons

PENG Yan-ping¹ GAO Chao² ZHANG Xu¹ GUO Zhong-lu¹ CAI Chong-fa¹ ZHAO Shu-hua¹

1. *Research Center of Soil and Water Conservation,*

Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. *Monitoring Center for Soil and Water Conservation in Hubei Province, Wuhan 430071, China*

Abstract Ephemeral gully plays an important role in soil losses in hilly red soil region. A field experiment was carried out to study the impact of contour hedgerow on spatial variation of soil water in red soil slope-land with ephemeral gullies. The results showed that there was an upward trend for the soil moisture from the soil surface to the bottom in the dry season. However, there was an upward trend for the soil moisture from the soil surface to the bottom in plot in the rainy season without contour hedgerow setting while it shows that the trend was 30 cm soil layer > 45 cm soil layer > 15 cm soil layer in the plot with contour hedgerow setting. The coefficient of variation of soil moisture in plot with contour hedgerow setting showed a decreasing tendency from the soil surface to the bottom, and it is larger than that of plot without contour hedgerow setting in the same layer. In the wet and dry seasons, the soil moisture in plot with contour hedgerow setting is more than that of plot without contour hedgerow setting at slope middle, but less at upper slope and lower slope. Therefore, the contour hedgerow can maintain soil and water effectively, making the plants to take advantage of shallow slope water in the wet and dry seasons, which plays a significant role in easing seasonal drought and conserving soil and water.

Key words red soil; contour hedgerow; wet and dry seasons; soil moisture; spatial variability; soil and water conservation

(责任编辑:陆文昌)