

等高绿篱模式下红壤丘岗区浅沟坡面土壤水分时空分布

郭忠录, 彭艳平, 丁树文, 蔡崇法

(华中农业大学 农业部亚热带农业资源与环境重点实验室, 武汉 430070)

摘要:等高绿篱技术被认为是防治浅沟侵蚀的一种有效措施, 然而, 绿篱拦挡下浅沟坡面土壤水分的变化特征还不是很清楚。利用定位观测数据, 探讨了绿篱拦挡下浅沟坡面土壤水分的时空变化。结果表明: 在浅沟存在的坡面上, 等高种植香根草显著影响了土壤水分时空分布特征。0—45 cm 土层土壤含水量垂直变化, 香根草小区和裸地小区在雨季均呈逐渐减小趋势, 在旱季呈逐渐增大趋势, 且香根草小区各层土壤水分变异程度大于裸地; 浅沟坡面土壤水分从坡顶向下, 香根草小区变化总趋势是先减小后增大或持平, 裸地小区呈先增大后减小再增大趋势; 香根草种植增大了土壤水分沿坡面横向的变异性, 但纵向坡位的影响仍较横向明显。

关键词:等高绿篱; 浅沟; 土壤水分; 时空分布; 红壤丘岗区

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0062-05

Impact of Contour Hedgerow on Spatial and Temporal Variation of Soil Moisture in the Slopeland with Ephemeral Gully in Hilly Red Soil Region

GUO Zhong-lu, PENG Yan-ping, DING Shu-wen, CAI Chong-fa

(Key Laboratory of Subtropical Agriculture and Environment, Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: It is very meaningful to understand the effect of contour hedgerow intercropping and ephemeral gully on spatial and temporal distribution of slopeland soil moisture in hilly red soil region. Soil water content of a depth of 45 cm at 15 cm intervals along with soil and water losses were analyzed and the reasons for these changes were discussed based on soil water content measurement from late May to early November in 2007. The results showed that, soil moisture of 3 soil layers are gradually decreased during the rainy season, soil moisture along the vertical gradually increased during the dry season, and the mean variation of soil moisture in control treatment is weaker than that of Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) treatment. For Vetiver treatment, soil water contents decrease at beginning, then increase or keep flat from its top to the bottom along longitudinal direction; for control treatment, soil water contents increase at beginning then decrease until keep increase. Vetiver increased variability of soil moisture along horizontal direction to a great extent, but longitudinal direction still has more influence on soil moisture than horizontal direction.

Key words: contour hedgerow; ephemeral gully; soil water; spatial and temporal variability; hilly red soil region

红壤丘岗区以缓坡地(6°~15°)为主要地貌特征, 是我国自然生产潜力最高的地区。红壤地区地处热带、亚热带, 水热资源充沛, 然而降水资源时空分配极不均匀, 雨季的水土流失, 伏旱、秋旱季节作物缺水; 同时由于区域地形部位、地貌特征、植被类型和分布不同, 土壤水分空间分布也各不相同。目前, 水土流失与季节性干旱是本区坡地农业利用的最大障

碍^[1]。因此, 了解坡面土壤水分时空分布特征, 对于探讨坡地水土资源高效利用、水土流失和面源污染控制及植被恢复等有着积极的实践意义。

近年来, 国内外对等高绿篱种植模式开展了大量研究和示范。已有研究和示范结果表明, 等高绿篱种植模式作为一种农林复合经营模式, 不仅在减少坡地水土流失和增加农作物产量有良好效果, 而且可以改

收稿日期: 2010-03-05

资助项目: 国家自然科学基金(40671114, 40901132); 国家重点基础研究发展计划(2007CB407201)

作者简介: 郭忠录(1980—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向: 水土保持与生态恢复。E-mail: zlguo@mail.hzau.edu.cn

通信作者: 蔡崇法(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 土壤侵蚀与水土保持。E-mail: cfcai@mail.hzau.edu.cn

善土壤物理性质和坡耕地农业系统的水分状况^[2]。潘成忠和上官周平^[3]研究发现土壤水分因坡面上浅沟的存在变异很显著,等高绿篱作为防治坡面浅沟侵蚀的有效措施在许多区域应用广泛^[4-5],但等高绿篱模式下浅沟坡面土壤水分时空变化规律缺乏研究。在我国南方侵蚀严重的坡面上,分布着密度不等的浅沟,浅沟汇集坡面水流,动能较大,是红壤丘岗区水土流失的重要通道^[6]。鉴于此,以鄂东南红壤丘陵区坡耕地为研究对象,通过人工建筑浅沟发育初期的雏形模型,探讨香根草绿篱拦挡下浅沟坡面土壤水分的时空分布规律,以期研究土壤水分有效性与水土流失过程提供重要参数,为坡地侵蚀控制和植被恢复,及等高绿篱技术推广提供科学依据,为红壤丘岗区水土资源管理提供指导。

1 试验区概况

试验点在湖北省咸宁境内,位于东经 $114^{\circ}06' - 114^{\circ}43'$,北纬 $29^{\circ}39' - 30^{\circ}02'$,为亚热带季风湿润气候区,雨热同季。年均降雨量 1 370 mm,年蒸发量 1 490 mm,年平均气温 16.8°C ,年日照时数在 1 500 ~ 2 100 h,多年平均无霜期 258 d,春夏之交有一“梅雨”季节,秋旱、伏旱频繁。咸宁地处江汉平原和鄂东南丘陵山地的过渡带,成土母质以第四纪黏土和泥质类页岩为主,土壤类型主要有红壤和水稻土,侵蚀类型以面蚀和浅沟侵蚀为主。植被有常绿阔叶林、落叶阔叶林及针叶林。

2 试验设计与方法

试验开始于 2007 年 4 月,在改建的径流小区中进行,试验用土为第四纪红色黏土发育的红壤。小区四周有水泥挡板分隔,坡度为 15° ,小区长为 10.0 m,宽 2.0 m。基于红壤坡地浅沟地形特征参数,结合郑粉莉等^[7]的试验设计,在小区中,从坡下至坡长 8.0 m 处,制作浅沟雏形模型,浅沟沟槽位于径流小区中间,浅沟沟底与两侧沟坡高差 0.2 m,沟宽 0.4 m,浅沟雏形模型的横断面为弧形(图 1)。

试验设 2 个处理:(1)CK,无植物篱;(2)CH,等高种植 2 带香根草(Contour hedgerow),绿篱带宽 0.20 m,根据许峰等^[8]研究的结果,带间距设计为 2.80 m,每带种植 2 行,交错种植,株距 0.20 m。香根草于 2007 年 4 月中旬移植,移植前香根草地上部保留 0.25 m 长。

土壤水分测定用时域反射仪(TDR)测量土壤体积含水率(%),雨期每 10 d 测量一次,早期每 15 d 测量一次。在小区内,沿坡横向从浅沟正中向两侧每隔 0.20 m 分别选取 3 条 10 m 长的纵向线,在每条纵向

线上从坡顶向下在距小区顶部 1.00, 2.00 m(沟头), 2.95, 3.65, 4.55, 5.25 m(第一带绿篱上、下侧各 0.35 m 和 1.05 m)、5.95, 6.65, 7.55 m(第二带绿篱上侧 0.35 m 和 1.05 m、下侧 0.35 m)处布设监测点,共设监测点 63 个(图 2),对照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。其中横向上从浅沟沟底向两侧依次为一、二、三、四层级,纵向上沿坡面从上到下依次为坡面顶部(0~1.90 m)、浅沟沟头(2.00 m)、浅沟上部(2.00~4.00 m)、浅沟中部(4.20~7.00 m)和浅沟下部(7.20~10.00 m)5 个层级(图 2)。每组监测点分 3 层(0-15, 15-30, 30-45 cm 土层)。

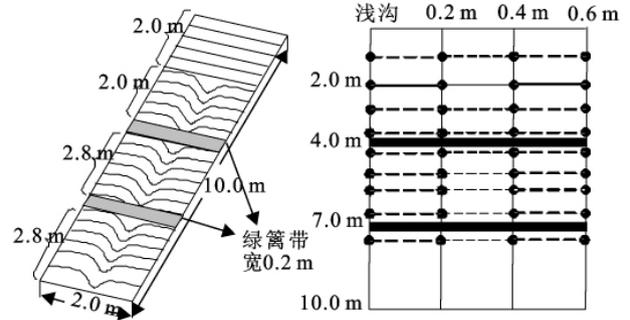


图 1 绿篱侵蚀浅沟模型布设示意图

图 2 浅沟坡面监测点布设示意图

为了保证相对均匀的下垫面条件和减少土壤表面的变异性对试验结果的影响,经过 4~5 场较大降雨后,于 5 月底开始观测土壤水分,观测时间为香根草全生长期(2007 年 5 月下旬至 11 月上旬)。监测期间绿篱小区和对照小区均未种植作物。

3 结果与分析

3.1 土壤水分的垂直变化规律

土壤水分的垂直变化规律主要受降水入渗再分布以及植物和土壤向上的蒸散量两个过程支配,对坡面而言,该过程又受到坡向坡位、土壤物理性质、气候特征、植被类型及生长状况等影响。从各采样点 3 个土层的含水量(2007 年 5-11 月香根草主要生长期土壤平均含水量)变化可以看出,不论香根草小区或是对照小区,绝大部分采样点,降雨期间(5-9 月下旬)土壤含水量沿土层变化为 0-15 cm 土层含水量较大,而持续干旱期(9 月下旬-11 月上旬)则表现为 30-45 cm 土层含水量较高(图 3)。这可能是由于降雨是坡面土壤水分的主要来源,降雨量的分配及其有效性会直接影响土壤水分的补给程度和深度,进而影响到土壤剖面水分动态。香根草整个生长期,两个处理的土壤含水量均值均表现为 15-30 cm 土层较大(表 1),这可能与第四纪红色黏土发育的红壤红白相

间的网状层透水性弱有关。

土壤水分垂直变化特征可用土壤水分数据的极差和变异系数来衡量。极差和变异系数小代表变化轻微,反之代表变化剧烈。两个处理的极差和变异系数均表现为 $0-15\text{ cm} > 15-30\text{ cm} > 30-45\text{ cm}$, CH 处理的 3 个土层土壤含水量的极差和变异系数

均大于 CK。这说明在试验条件下,浅沟坡面等高种植香根草后,降雨期间土壤水分入渗量增加,从而提高了土壤储水量;而植被存在,蒸发蒸腾作用增强,在耗水无减少、无降雨的旱季,土壤含水量减少,从而影响了土壤水分在坡面的动态分布,造成了距绿篱不同距离及不同深度水分差异。

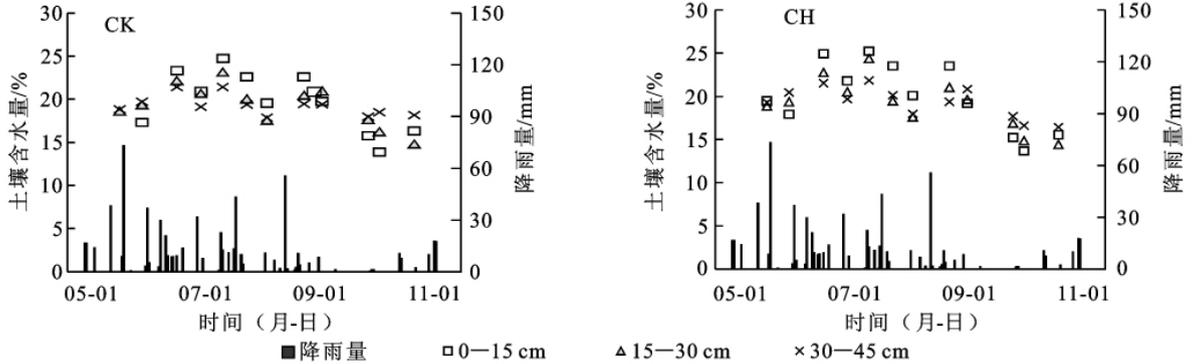


图 3 香根草生长期土壤水分垂直变化

表 1 浅沟坡面土壤水分垂直分布的统计分析特征值

处理	深度/cm	最大值	最小值	极差	均值	方差	标准差	变异系数	偏度	峰度
CK	0-15	26.9	10.3	16.6	18.81	14.09	3.75	19.95	-0.364	-0.590
	15-30	26.7	11.1	15.6	19.58	9.13	3.02	15.49	-0.354	-0.257
	30-45	25.9	10.4	15.5	19.49	7.65	2.76	14.15	-0.058	-0.086
CH	0-15	29.2	9.1	20.1	19.24	18.98	4.35	21.86	-0.273	-0.719
	15-30	28.9	9.7	19.2	19.78	15.02	3.87	19.55	-0.220	-0.414
	30-45	26.0	10.0	16.0	19.12	8.86	2.97	15.54	-0.440	-0.166

3.2 土壤水分沿坡面纵横向变异规律

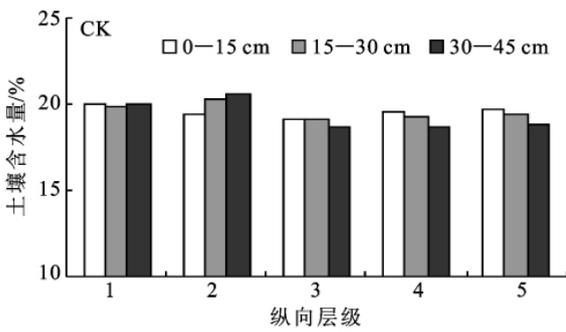
3.2.1 纵向变异规律 对香根草生长时期 3 个深度土层土壤水分沿坡面纵向变化(图 4)与土壤含水量的变异程度进行了分析(表 2),0-15 cm 土层土壤含水量沿纵向坡位变异度最大,CH 处理为 9.56%,CK 处理为 8.73%;30-45 cm 土层土壤含水量变异程度最小,CH 和 CK 处理分别为 7.53%和 6.49%。CH 和 CK 3 个深度土层土壤含水量受纵坡影响程度基本上表现为 $0-15\text{ cm} > 15-30\text{ cm} > 30-45\text{ cm}$ 。4 条纵向线上 3 个深度土层土壤水分均呈“波浪形”变化,其中香根草绿篱处理 0-15 cm 和 15-30 cm 土层土壤水分沿坡面向下先减小后增大或持平趋势,30-45 cm 土层土壤水分从坡顶向下逐渐减小至持平;CK 处理 3 个土层土壤含水量沿坡面向下变化趋势,0-15 cm 土层先减小后增大,15-30 cm 和 30-45 cm 土

层先增大后减小再增大。

3.2.2 横向变异规律 浅沟侵蚀是我国南方红壤丘陵区水土流失的一种重要方式,浅沟存在必定会影响坡面土壤水分的分布,反过来影响坡面浅沟侵蚀过程。但目前在该区有关浅沟坡面土壤水分空间变异的研究不多^[9],事实上,地表微地形的变化必然会引起土壤水分的变异。从表 2 中 3 个土层沿横向坡面的变异系数可以看出,CH 和 CK 两个处理总体变异情况与纵向相似,且各层均明显小于纵向。沿横向第二层级两个处理 3 个深度土层土壤含水量均明显低于其它层级,尤其是等高种植香根草的小区(图 5)。这是由于第二层级位于浅沟的沟缘处,沟壁蒸发引起的。郑粉莉^[9]对浅沟微地形坡面土壤水分分布研究也发现,在不同侵蚀条件下,浅沟沟槽处水分情况明显好于沟坡处。

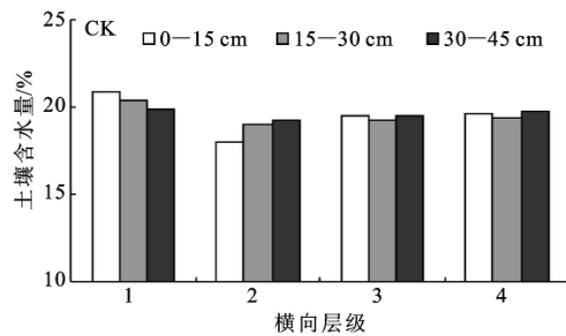
表 2 香根草生长期间各土层土壤水分沿纵、横坡变异系数

沿坡方向	CK			CH		
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm
纵向	8.73	7.55	7.53	9.56	8.41	6.49
横向	7.99	6.27	4.20	7.24	7.95	5.30



1. 坡面顶部, 2. 浅沟沟头, 3. 浅沟上部, 4. 浅沟中部, 5. 浅沟下部

图 4 不同土层土壤含水量沿坡面纵向变异



1, 2, 3, 4 分别表示浅沟沟底, 距浅沟 20 cm, 40 cm, 60 cm 四条纵向线

图 5 不同土层土壤含水量沿坡面横向变异

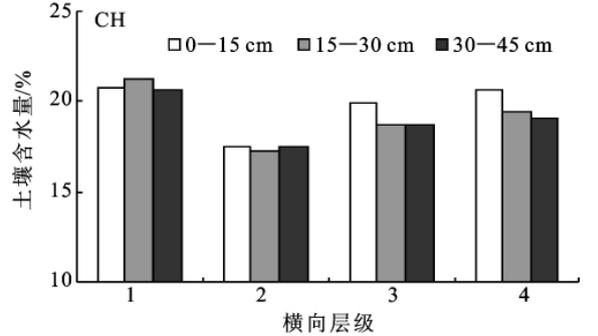
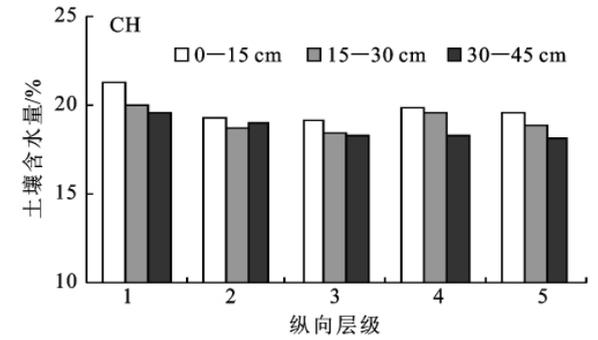
表 3 各土层土壤含水量—坡位双因子方差分析 F 值

处理	差异来源	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm
CK	纵向坡位	1.809	0.816	0.175
	横向坡位	0.077	0.089	0.672
CH	纵向坡位	1.537	2.557	2.762
	横向坡位	0.707	0.503	0.891

3.2.3 坡位对土壤水分变异的影响 为了比较坡位对土壤水分分布的影响,采用纵、横向坡位作为影响因子,对 3 个深度土层土壤含水量进行双因子分析,以期找出有浅沟存在及等高绿篱种植的坡面上,横向坡位与纵向坡位对不同深度土层土壤水分变异的影响差异。分析可知,无论是 CK 或是 CH,横向坡位和纵向坡位对不同深度土层含水量的影响差异明显,但这种差异没有达到显著水平($P>0.05$),且纵向坡位对不同土层土壤含水量影响明显大于横向坡位(表 3)。浅沟坡面等高种植香根草后,不论是纵向还是横向坡位,对 3 个土层土壤含水量的影响(CK 横向坡位 0-15 cm 土层除外)大于对照处理。说明浅沟坡面等高种植香根草后,不同坡位不同深度土层土壤含水量之间的差异增大。

4 结论

有关土壤水分在坡面不同位置分布特征和变异规律,国内外不少学者做了大量研究,但所得研究结



果不尽相同。Stenberg 等^[10]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。刘梅等^[11]在黄土高原丘陵沟壑区的研究结果表明,不同坡向土壤湿度差异大,土壤储水量以北坡最高,在土壤浅层,湿度从坡顶到坡脚逐渐减小或差别不大,在深层,从坡顶到坡脚逐渐增大。胡伟等^[12]对黄土高原退耕地坡地土壤水分空间变异研究认为,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。本研究结果表明,在浅沟存在的红壤丘岗区坡面上不同土层土壤水分沿坡顶向下变化趋势,浅沟沟底处和沟缘处是先减小后增大或持平,沟间地为先增大后减小至持平;等高种植香根草后,浅沟沟底、沟缘和沟间地土壤水分沿坡顶向下均表现为先减小后增大至持平趋势(图 4),且土壤水分沿坡面纵横向变异均大于裸地,监测期间内土壤水分变异下坡高于上坡(表 2);土壤水分受降雨影响较大,在雨季均呈逐渐减小趋势,在旱季呈逐渐增大趋势(表 1)。唐彬等^[13]在红壤丘岗坡地研究结果表明,土壤水分沿坡位的年内变化始终是坡上大于坡下;基于土壤质地越黏持水量越高,他们将这种现象主要原因归于土壤物理性黏粒随地形的变化,由坡上向下土壤物理性黏粒含量降低^[14]。造成本研究各土层土壤水分沿下坡方向的变化趋势原因分析为:(1)无绿篱对照小区沟间地土壤水分沿坡面纵向变化趋势可能

与本试验用土为第四纪红色黏土发育的红壤有关,其土壤黏粒含量接近于 50%;(2)至于沟槽和沟缘,可能主要是因为浅沟存在改变了地表微地形,增加了地表面积,提高了土壤蒸发,致使沟头和沟缘处土壤含水量降低;(3)对于香根草小区,根系吸收水分必然会引起土壤水分垂直和水平变化,加之降雨过程径流和土壤水分向下坡分异性,土壤水分发生再分配。这也在一定程度上说明与香根草绿篱耗水相比,上坡红壤的持水性对土壤水分的影响居于次要地位。

本研究中浅沟微地形明显地影响到土壤水分的横向分布(图 5),郑纪勇等^[15]对黄土高原侵蚀冲沟沟壁侧面蒸发研究结果也表明沟壁蒸发是客观存在的,距沟缘 20 cm 处土壤水分损失最快,500 cm(沟中)处土壤水分损失最慢。潘成忠和上官周平^[3]对黄土半干旱丘陵区陡坡坡地土壤水分研究发现,在坡面有浅沟微地形存在的情况下,纵向和横向坡位对坡面土壤水分分布均存在影响,且纵向坡位的较横向显著,与本试验的结果一致(表 3)。等高种植香根草绿篱一定程度上影响了土壤水分沿横向坡位的变化。

参考文献:

- [1] 南方红壤退化机制与防治措施研究专题组. 中国红壤退化机制与防治[M]. 北京:中国农业出版社, 2001:1-7.
- [2] Ng Sai Leung, Cai Qiang Guo, Ding Shu Wen, et al. Effects of contour hedgerows on water and soil conservation, crop productivity and nutrient budget for slope farmland in the Three Gorges Region (TGR) of China [J]. *Agroforestry System*, 2008, 74(3): 279-291.
- [3] 潘成忠,上官周平. 黄土半干旱丘陵区陡坡地土壤水分空间变异性研究[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(6): 5-9.

(上接第 61 页)

参考文献:

- [1] 张信宝. 长江上游河流泥沙近期变化、原因及减沙对策[J]. *中国水土保持*, 1999(2): 22-24.
- [2] 张信宝,文安邦. 长江上游干流和支流河流泥沙近期变化及其原因[J]. *水利学报*, 2002, 27(4): 56-59.
- [3] 戴明龙,张明波,叶莉莉. 长江流域典型河流水沙过程变异研究[J]. *水文*, 2009, 29(2): 55-58.
- [4] 许炯心. 人类活动和降水变化对嘉陵江流域侵蚀产沙的影响[J]. *地理科学*, 2006, 26(4): 432-437.
- [5] 李铁松,张桥英. 嘉陵江的起源及流域自然环境研究[J]. *四川师范学院学报:自然科学版*, 1999, 20(2): 105-108.
- [6] 丁文峰,张平仓,任红玉. 近 50 年来嘉陵江流域径流泥沙演变规律及驱动因素定量分析[J]. *长江科学院院报*, 2008, 25(3): 23-27.

- [4] 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.
- [5] 郑粉莉,唐克丽,周佩华. 坡耕地细沟侵蚀发生、发展和防治途径的探讨[J]. *水土保持学报*, 1987, 1(1): 36-48.
- [6] 钟五常. 江西红壤丘陵浅沟侵蚀的成因及其治理[J]. *江西师范学院学报*, 1966(1): 51-60.
- [7] 郑粉莉,武敏,张玉斌,等. 黄土陡坡裸露坡耕地浅沟发育过程研究[J]. *地理科学*, 2006, 26(4): 438-442.
- [8] 许峰,蔡强国,吴淑安,等. 坡地等高植物篱带间距对表土养分流失影响[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(2): 23-29.
- [9] 郑粉莉. 不同侵蚀条件下浅沟微地形坡面土壤水分分布研究[C]//邵明安. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业. 西安:陕西科学技术出版社, 1999: 51-56.
- [10] TenBerge HFM, 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.
- [11] 刘梅,蒋定生,黄国俊,等. 不同坡面位置土壤水分差异规律分析[J]. *水土保持通报*, 1990, 10(2): 16-20.
- [12] 胡伟,邵明安,王全九. 黄土高原退耕地坡地土壤水分空间变异性研究[J]. *水科学进展*, 2006, 17(1): 74-81.
- [13] 唐彬,谢小立,彭英湘,等. 红壤丘岗地坡地土地利用与土壤水分的时空变化关系[J]. *生态与农村环境学报*, 2006, 22(4): 8-13.
- [14] 柳云龙,胡宏涛. 红壤地区地形位置和利用方式对土壤物理性质的影响[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 22-26.
- [15] 郑纪远,李裕元,邵明安,等. 沟壁侧面蒸发与黄土高原环境干旱化关系研究[J]. *中国水土保持科学*, 2006, 4(3): 6-10.

- [7] 穆兴民. 黄土高原水土保持对河川径流及土壤水文的影响[D]. 陕西杨陵:西北农林科技大学, 2002.
- [8] Pettitt A N. A non-parametric approach to the change point problem[J]. *Applied statistics*, 1979, 28(2): 126-135.
- [9] Vogel R M, Fennessey N M. Flow Duration Curves I: A New Interpretation and Confidence Intervals[J]. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 1994, 120(4): 210-215.
- [10] Foster H A. Duration curves[J]. *American Society of Civil Engineers Transactions*, 1934, 99: 1213-1267.
- [11] 许全喜,石国钰,陈泽方. 长江上游近期水沙变化特点及其趋势分析[J]. *水科学进展*, 2004, 29(7): 420-426.
- [12] 杨泉,何文社. 嘉陵江水土保持对三峡工程水沙的影响[J]. *兰州交通大学学报:自然科学版*, 2005, 24(3): 37-40.
- [13] 许全喜,陈松生,熊明,等. 嘉陵江流域水沙变化特性及原因分析[J]. *泥沙研究*, 2008(2): 1-8.