

# 黄土丘陵沟壑区微地形对土壤水分及生物量的影响

邝高明<sup>1</sup>, 朱清科<sup>1</sup>, 刘中奇<sup>1,2</sup>, 赵 荟<sup>1,3</sup>, 王 晶<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 内蒙古民族大学, 内蒙古 通辽 02804; 3. 国家林业局 昆明勘察设计院, 昆明 650216)

**摘 要:**黄土丘陵沟壑区坡面内地表的起伏形成微地形,而按照微地形进行植被配置已经成为黄土丘陵沟壑区生态恢复建设的重要方向。采用样方调查与随机采样的方法,调查陕西省吴起县合家沟流域微地形及坡面生物量,并用探针式 TDR 测定土壤含水量。结果表明,随着土层深度的增加,各类微地形土壤水分的变异系数有减小的趋势,而 0—60 cm 土层,陡坎的土壤水分变异系数最大,塌陷的最小;各微地形土壤水分顺序为:塌陷>缓台>切沟底>浅沟底>原状坡>陡坎;各类微地形及原状坡内生物量从大到小的排序为塌陷>切沟>浅沟>原状坡>缓台>陡坎,且微地形生物量与 0—60 cm 土层土壤水分变异系数呈负相关性。

**关键词:**黄土丘陵沟壑区;微地形;土壤水分;生物量

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0074-04

## Effect of Microrelief on the Soil Water and Vegetation Arrangement in Loess Hilly and Gully Region

KUANG Gao-ming<sup>1</sup>, ZHU Qing-ke<sup>1</sup>, LIU Zhong-qi<sup>1,2</sup>, ZHAO Hui<sup>1,3</sup>, WANG Jing<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Inner Mongolia University for the Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028000, China; 3. China Forest Exploration&Design Institute on Kunming, Kunming 650216, China)

**Abstract:** In loess hilly and gully region, fluctuating land surface forms microrelief. Microrelief-based vegetation arrangement has become an important method in ecological restoration and construction. By using sampling surveys and random sampling, the biomass and the soil water content were surveyed by TDR on microrelief and the corresponding original slope in Hejia valley, Wuqi County, Shaanxi Province. Results showed that the coefficient of variation of microrelief soil water decreased with the increase of soil depth. The variation coefficient of soil water (0—60 cm soil) at scarp was the biggest (0.259) while at shallow gully was the smallest (0.226). In terms of soil water on sunny slope and soil water, landform units might be ranked in the descendant order of collapse, gully>platform>collapse>shallow gully>original slope>scarp, in addition, the sequence of vegetation arrangement was collapse>gully>shallow gully>original slope>platform>scarp, and the vegetation arrangement of microrelief was correlated negatively the variation coefficient of soil water (0—60 cm depth of soil).

**Key words:** loess hilly and gully region; microrelief; soil water; vegetation arrangement

在干旱少雨的黄土丘陵沟壑区,水分是制约植被生长的主要因素,而影响降雨在土壤再分配过程中的一个重要因素是地形地貌因素<sup>[1-2]</sup>。目前,国内涉及到土壤水分时空分布规律研究的多集中在三个尺度,坡面尺度<sup>[3]</sup>、小流域尺度及集水区尺度<sup>[4-6]</sup>、区域尺

度<sup>[7-8]</sup>,且现有研究最小尺度为坡面,对于坡面及其小流域的研究多是对坡向、坡度、坡位、海拔高程<sup>[9-11]</sup>等地形因子对土壤水分分布的影响,在黄土高原复杂的沟壑系统中,这方面的研究对于生态修复建设有一定指导意义,但是地形因子的分析对于精确的“因地制宜

收稿日期:2011-10-26

修回日期:2011-12-01

资助项目:林业公益性行业科研专项(201104002-2)

作者简介:邝高明(1987—),男,河南驻马店人,硕士研究生,主要研究方向:水土保持和生态环境地理学。E-mail:kuanggaoming@126.com

通信作者:朱清科(1956—),男,宁夏固原人,教授,博士生导师,主要研究方向:水土保持和林业生态工程。E-mail:zhuqingke@sohu.com

宜,适地适树”还是不够的,目前缺少对坡面上微地形土壤水分与生物量差异的调查与分析<sup>[12]</sup>,将生态修复建设与多样的微地形结合的研究。

黄土丘陵沟壑区侵蚀严重、地形破碎,坡面上大致分布有切沟、浅沟、塌陷、缓台及陡坎等五种微地形。各类微地形使坡面凹凸不平,影响降雨在坡面上的再分配过程,进而导致土壤水分及植被在坡面上分配的差异性。本文通过实地量测和对比分析各种微地形及其相应原状坡的土壤含水量和生物量,以期揭示黄土丘陵沟壑区坡面内微地形尺度的土壤水分和植被空间分异特征,为坡面植被恢复提供科学依据和指导。

## 1 研究区概况

研究区位于陕西省吴起县合家沟流域,地处东经 $107^{\circ}38'57''$ — $108^{\circ}32'49''$ ,北纬 $36^{\circ}33'33''$ — $37^{\circ}24'27''$ ,地貌属黄土高原梁状丘陵沟壑区;多年平均降水量478.3 mm,降水量年际变化大、季节分配不均,7—9月降水量占全年降水量的64%以上,其它季节多为无效降水;年平均气温 $7.8^{\circ}\text{C}$ ,无霜期96~146 d,属暖温带大陆性干旱季风气候,多年平均陆地蒸发量400~450 mm;土壤类型为地带性黑垆土剥蚀后广泛发育在黄土母质上的黄绵土,质地为轻壤。该流域从1998年开始封育,封禁后恢复起来的草本群落以百里香(*Thymus mongolicus*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*Artemisia giralaai*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、达乌里胡枝(*Lespedeza davurica*)、萎陵菜(*Potentilla chinensis*)和冷蒿(*Artemisia frigida*)为主,在沟底等部位零星分布有灌木和乔木。该封育流域内,地形破碎,各类微地形广泛分布,为本研究提供了前提。

## 2 研究方法

### 2.1 数据的采集

2.1.1 微地形的定义与分类 黄土丘陵沟壑区微地形主要是指浅沟、切沟、塌陷、缓台、陡坎等五类大小不等、形状各异的局部地形。其中,浅沟和切沟是黄土侵蚀沟发育过程的两种初级状态,由降雨形成的地面径流在汇集过程中,集中股流冲刷下切而形成;塌陷是指坡面塌陷、集中股流溯源侵蚀等土壤侵蚀形成的凹陷状地形;缓台指坡面局部坡度明显小于整个坡面平均坡度的平缓地段;陡坎是指坡面局部坡度明显大于整个坡面平均坡度的陡峭地段。由于坡面造林植物种的配置是以米为单位设计的,因此本研究中的微地形是指坡面范围内大小1 m的局部地形状态。

微地形改变了整个坡面的承雨面和水分运移路径,使坡面内的土壤水分等生境条件产生空间异质性。

2.1.2 数据的采集 本次研究选择了陕西省吴起县合家沟流域进行调查,该流域经过10余年的封育修复,植被群落类型和生长时间基本一致,调查坡面上坡度、坡向变化较小,样方布置在坡面中部,能很好的消除其它地形地貌(坡度、坡向及坡位)因素及植被因素对于土壤水分在坡面上空间分布差异性的影响。测定时间选择在7月初,之前一段时间并无明显的降水,坡面土壤水分含量相对稳定。

采用样方调查与随机取样结合的方法:样地尺寸 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ ,在样地内以“对角线法”确定5个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的小样方,同时选取一个能代表所研究坡面的典型样方,利用小秤测定地上鲜生物量。由于研究区植被多为草本,其根系主要分布在0—60 cm土层,该层土壤水分的多少决定了植被的生长状况,因此用TRIME—EZ型号的探针式TDR(time—domain—reflectometry)分别测定每个采样点0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm三层的土壤体积含水量,每一层测定3次,每次探针的方向旋转 $120^{\circ}$ ,取3次的平均值作为该测点微地形根层的土壤含水量。本文中提到土壤含水量均为平均土壤体积含水量。

### 2.2 数据的处理

2.2.1 土壤水分差异显著性检验 利用SPSS软件对各样方的土壤水分进行两两配对的Wilcoxon秩检验,揭示原状坡与各类微地形不同土壤深度水分的差异性。Wilcoxon秩检验适用于配对资料的差异比较,如果计算结果中 $P$ 值小于0.05、说明两组数据存在统计学意义上的显著差异,如果 $P$ 值小于0.01、说明两组数据存在统计学意义上的差异极显著。

2.2.2 微地形土壤水分变异系数 变异系数( $C_v$ )表示土壤水分在空间变异的程度,是各层土壤水分标准差与均值的比值,它的大小反映了各层水分的稳定性。 $C_v$ 越大,说明样点含水量变化越剧烈; $C_v$ 值越小,土壤含水量越稳定。

## 3 结果与分析

### 3.1 微地形水分特征分析

3.1.1 土壤水分的空间差异性分析 利用SPSS软件对各类微地形的数据进行两两配对样本Wilcoxon秩检验,检验结果见表1。

由表1知,除浅沟外,其它四类微地形的土壤含水量均与原状坡有显著的差异性,因此在对坡面进行人工植被恢复建设时对浅沟植被配置模式应该与其所在原状坡一样。切沟、塌陷、缓台和陡坎这4种微

地形与各自所在的原状坡土壤含水量有显著差异,且切沟、陡坎的差异性极显著。因此在进行人工植被恢复建设时可以考虑将这 4 种微地形区别对待,利用微地形所造成的生境差异配置适于该微地形的植被模式,从而打破以往沿等高线进行统一植被配置的模式,进一步提高“因地制宜,适地适树”的精准度。

表 1 土壤水分的差异性检验

地形	原状坡	塌陷	浅沟	切沟	缓台	陡坎
原状坡	1	0.006**	0.111	0.026*	0.019*	0.045*
塌陷		1	0.008**	0.110	0.008**	0.008**
浅沟			1	0.038*	0.036*	0.011*
切沟				1	0.972	0.002**
缓台					1	0.340
陡坎						1

注: \* 表示以显著性水平  $\alpha=0.05$  检验,差异显著; \*\* 表示以显著性水平  $\alpha=0.01$  检验,差异极显著。

3.1.2 不同类型微地形土壤体积含水量特征值 在 Excel 中统计不同类型的微地形各层土壤水分特征值。由表 2 可知,与原状坡相比,除陡坎各层的土壤含水量均小于原状坡外,其它四类微地形各层土壤含水量都比原状坡的土壤含水量大;在 0—20 cm 土层,各微地形土壤含水量的大小排序为切沟>塌陷>缓台>浅沟>原状坡>陡坎,在 20—40 cm,40—60 cm 及 0—60 cm 土层,各微地形土壤含水量的大小排序均为塌陷>缓台>切沟>浅沟>原状坡>陡坎。

表 2 不同类型微地形土壤含水量 %

地形	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	0—60 cm
原状坡	10.00	9.80	8.75	9.52
塌陷	11.80	14.40	13.73	13.31
浅沟	11.50	9.70	9.67	10.29
切沟	12.77	11.57	11.73	12.02
缓台	11.07	12.80	12.93	12.27
陡坎	8.63	7.71	8.30	8.21

从表 2 中也可知不同类型微地形的土壤含水量存在巨大的差异,最大的塌陷 0—60 cm 土层土壤含水量为 13.31%,而最小的陡坎的 0—60 cm 土壤含水量仅为 8.21%,前者约为后者的 1.62 倍,是原状坡的 1.4 倍。

另外,由表 1 可知,塌陷、切沟与缓台与原状坡的土壤含水量存在显著差异,结合表 2,可知塌陷、切沟与缓台的土壤水分条件优于原状坡,而在黄土区,水分是制约植被生长的关键因素,不同的土壤含水量能够支撑不同数量与不同类型的植被,因此塌陷、缓台及切沟在植被配置时应选择比原状坡高一等级的植被配置模式;而浅沟的土壤含水量虽然大于原状坡,却没有显著的差异性,在植被配置时,应选择与原状坡同样的植被配置模式;同样,陡坎的土壤水分条件

比原状坡的差,应选择比原状坡低一等级的植被配置模式。这也为打破黄土区传统的按照等高线进行植被配置的模式、更好地实现“因地制宜、适地适树”提供了科学的参考依据。

3.1.3 不同类型微地形土壤水分的变异系数 经过计算,得到不同类型微地形各层土壤水分变异系数,见表 3。

表 3 不同类型微地形土壤水分变异系数 %

地形	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	0—60 cm
原状坡	22.3	21.7	8.2	24.8
塌陷	19.6	19.0	14.3	17.9
浅沟	20.3	18.9	14.9	15.0
切沟	29.2	22.6	14.3	20.6
缓台	24.1	15.9	13.8	25.8
陡坎	32.2	22.9	19.1	25.9

由表 3 可知,原状坡及各类微地形的 0—20 cm 土层土壤水分变异系数最大,表明在 0—20 cm 层土壤水分变化最大。这是由于该层接近于地表,降雨时雨水首先进入该层,使其土壤水分含量迅速增加;而在黄土丘陵区,土壤水分下渗速度快、蒸发量大,导致雨后该层水分又急剧较少,使得 0—20 cm 土层成为原状坡及各类微地形土壤水分变化最活跃的土层。

随着土层深度的增加,各类微地形土壤水分的变异系数有减小的趋势。而土壤水分变异系数最小的土层为 40—60 cm 土层,而且不同类型微地形的该层土壤水分变异系数大小近似。这是由于该层远离地表,上层雨水下渗到该层需要很长时间、土壤水分蒸发量很小,使得该层的土壤水分相对稳定。

不同微地形各层的土壤水分变异系数从大到小的顺序都不一样,整体上各层土壤水分变异系数最大的为陡坎、切沟次之,而塌陷最小。这是由于陡坎水分条件最差,植被情况也相对比其它微地形差,而在黄土区,植被能够很好的减小土壤表层的蒸发量,所以陡坎的土壤水分变化最为活跃,反之塌陷的植被生产状况好,能够减少其土壤表层蒸发量,水分变化比较小。

### 3.2 不同微地形的生物量分析

由图 1 可知,不同微地形内生物量与原状坡有较大差异,塌陷的生物量最大达 263 g/m<sup>2</sup>,而最小的陡坎为 122 g/m<sup>2</sup>,各类微地形及原状坡内生物量从大到小的排序为塌陷>切沟>浅沟>原状坡>缓台>陡坎,这与土壤含水量排序基本相似,也证明在黄土丘陵沟壑区,土壤含水量是影响植被生长的重要因素。而缓台内生物量表现出不同的规律,在野外调查中发现,缓台大多出现在上下两块坡耕地相交处等地形转折的地方,一般宽度较小,而且上部坡面径流在缓

台处冲刷力大,导致植被在缓台处生长困难,因此在进行植被恢复时,需对缓台处辅助适当的整地措施。

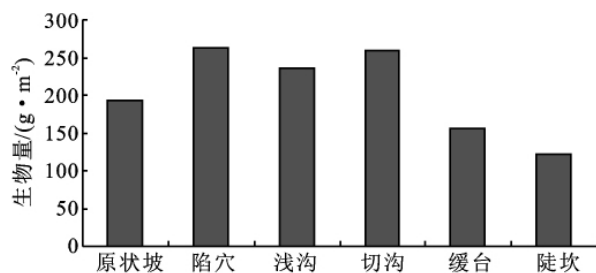


图1 不同微地形生物量

图2表明微地形生物量与0—60 cm 土层土壤水分变异系数呈负向相关性,这是由于植被一方面覆盖在地表,减少了0—20 cm 土层中水分蒸发量,另一方面植被生长消耗了大量的水分,尤其是深层的土壤水分,所以植被能够减小上下土层的水分差异。

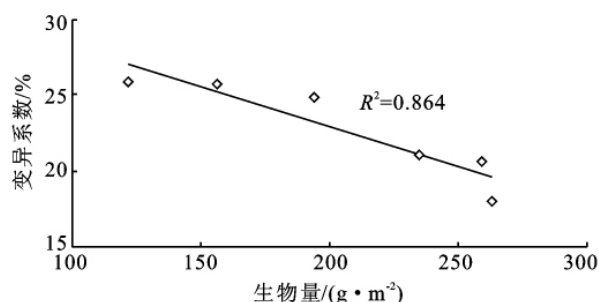


图2 微地形生物量与土壤水分变异系数相关性

## 4 结论

(1) 与原状坡相比,除陡坎各层的土壤含水量均小于原状坡外,其它四类微地形各层土壤含水量都比原状坡的土壤含水量大。整体来看,各类微地形与原状坡的土壤水分含量从大到小排序为塌陷>缓台>切沟>浅沟>原状坡>陡坎,土壤含水量最大的塌陷是含量最小陡坎的1.62倍,为原状坡的1.4倍;塌陷、缓台及切沟的水分条件明显优于原状坡,在植被配置时应选择比原状坡高一等级的植被配置模式,但缓台在植被配置前需进行一定的整地措施,减少径流对缓台表面的冲刷;浅沟的水分条件与原状坡相似,应选择与原状坡同等级的植被配置模式,陡坎的土壤水分条件比原状坡的差,在植被配置时应选择比原状坡低一等级的植被配置模式。

(2) 随着土层深度的增加,各类土壤水分的变异系数有减小的趋势,就各类微地形来说,各层土壤水

分变异系数最大的为陡坎、切沟次之,而塌陷最小,这与它们的地表植被生长情况有关。

(3) 不同类型与原状坡的微地形生物量从大到小的排序为塌陷>切沟>浅沟>原状坡>缓台>陡坎,并且微地形生物量与0—60 cm 土层土壤水分变异系数呈负相关性。微地形内土壤水分与植被相互影响,一方面土壤含水量越大,更有利于植被的生长,而植被消耗根层土壤水分,减少地表水分的蒸发,进而影响土壤水分在不同深度土层的分布。

## 参考文献:

- [1] 王月玲,张源润,蔡进军,等. 宁南黄土丘陵区不同生态恢复与重建中的土壤水分变化研究[J]. 中国农学通报, 2005,21(7):367-369,376.
- [2] 王栓全,岳宏昌,王伟. 黄土丘陵沟壑区不同土地类型的土壤水分特性[J]. 干旱区农业研究, 2009,27(6):93-96.
- [3] 徐海燕,赵文武,刘国彬,等. 黄土丘陵沟壑区坡面尺度土地利用格局变化对径流的影响[J]. 水土保持通报, 2008,28(6):49-52,72.
- [4] 何福红,黄明斌,党廷辉. 黄土高原沟壑区小流域土壤水分空间分布特征[J]. 水土保持通报, 2002,22(4):6-9.
- [5] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵小流域土壤水分空间格局及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2005,20(4):483-491.
- [6] 刘文兆. 半干旱黄土丘陵区小流域横断面土壤水分生态特征[J]. 干旱地区农业研究, 2003,21(4):95-100.
- [7] Hawley M E, Jackson T J, McCuen R H. Surface soil moisture variation on small agricultural watersheds[J]. Journal of Hydrology, 1983,62(1/4):179-200.
- [8] 马祥华,白文娟,焦菊英,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中的土壤水分变化研究[J]. 水土保持通报, 2004,24(5):19-23.
- [9] 卫伟,陈利顶,傅伯杰,等. 半干旱黄土丘陵沟壑区降水特征值和下垫面因子影响下的水土流失规律[J]. 生态学报, 2006,26(11):3847-3853.
- [10] 胡振华,冯慧敏,王电龙,等. 晋西黄土残塬沟壑区塬坡坡面土壤水分特征分析[J]. 山西农业大学:自然科学版, 2009,29(3):257-260.
- [11] 吕殿青,潘云. 六道沟流域不同坡位不同土地利用方式下的土壤持水特征研究[J]. 中国农学通报, 2008,24(8):279-282.
- [12] 路保昌,薛智德,朱清科,等. 干旱阳坡半阳坡微地形土壤水分分布研究[J]. 水土保持通报, 2009,29(1):62-65.