

陕北黄土区微地形土壤水分对降水特征的响应*

赵维军 马欢 朱清科 张岩 刘蕾蕾 王瑜

(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)

摘要: 利用标准化降水指数分析了吴起县 1957—2012 年的全年、生长季的降水特征,以及缓坡和陡坡不同微地形土壤水分在 2008—2012 年生长季的动态变化特征,结果表明:吴起县 1957—1986 年的降水波动较大,出现极端、严重干旱和湿润年份,但 1987 年以来则表现为轻微干旱、湿润或正常;生长季标准化降水指数与各点土壤水层厚度变化值呈正相关关系,与塌陷、缓坡的相关程度(R^2)低于 0.8,与切沟、缓台及浅沟的相关程度介于 0.8~0.9 之间,与其他各点的相关程度大于 0.9;生长季各点土壤水层厚度变化值存在显著差异,且缓坡、塌陷和缓台的值显著高于其他各点。

关键词: 陕北黄土区 微地形 土壤水分 降水 标准化降水指数

中图分类号: S157.1; S161.6⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)05-0118-07

引言

水分是干旱半干旱区植被生长和重建的主要限制因子^[1-2],陕北黄土丘陵沟壑区尤为突出^[3-4]。大气降水是该地区土壤水分的主要来源,降水量直接影响着土壤水分的动态变化^[5-7]。雨季降水后,林地、草地和林草界面表层土壤含水率明显增加且随深度的增加呈减小的趋势^[8]。而丰水年时,剖面土壤含水率和总的土壤储水量均明显高于枯水年^[9-10]。除降水外,该地区坡面上形成的不同微地形也是影响土壤含水率的重要因素^[11]。目前,已有很多国家开展了微地形的研究。微地形一般是指小尺度的地形变化,日本有专家将丘陵地区微地形分为顶坡、上边坡、谷头凹地、下边坡、麓坡、泛滥性阶地和谷床 7 类^[12]。美国等国家开展了关于微地形对坡面降雨渗透量^[13]、常绿阔叶林的树冠分布^[14]、热带淡水沼泽林的林分结构^[15]等的影响研究。但国外的微地形研究尺度均较大,并不是按照造林尺度划分。我国已有研究把黄土丘陵沟壑区坡面微地形定义为黄土坡面内由于土壤侵蚀等作用形成的大小不等、形状各异、使土壤水分和养分等生境条件在 1 m² 以上范围内产生变化的局部地形^[4, 16]。按照陕北黄土区的地形特征^[17-19]分为塌陷、切沟、浅沟、缓台、陡坎等 5 类微地形^[16],土壤含水率以塌陷、切沟和缓台微地形较高^[16, 20-23]。坡面上不同微

地形对降水具有再分配作用,影响了土壤含水率。但传统的植被造林恢复模式^[24]是沿等高线等株距等行距进行造林,并未考虑坡面微地形对降水的重分配作用,导致大量“小老树”的形成^[4]。目前,该区域生长季的降水特征及其对不同微地形土壤含水率的补给作用缺乏定量化描述,而不同微地形对生长季降水补给的响应特征直接影响着地上植被的生长。因此,本文分析该区域 56 年来全年及生长季的大气降水特征及其与不同微地形土壤含水率动态变化的量化关系,量化对比不同微地形的集水效果,从而加快陕北黄土区生态恢复进程。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省延安市吴起县合家沟流域,地处东经 107°38'57"~108°32'49",北纬 36°33'33"~37°24'27",地貌属于黄土高原丘陵沟壑区,海拔高度 1 350~1 525 m,全县 1957—2011 年多年平均降水量为 467 mm,其中 80% 的降雨集中在 5~10 月份,年均气温 7.8℃,干燥度指数为 1.5~2.0。1998 年自然封禁以前为农地,土壤为黄绵土。经过 15 年的封禁,研究区所在流域的植被以草本植物为主,主要有铁杆蒿、芨蒿、大针茅、达乌里胡枝子、冷蒿、星毛萎陵菜、萎陵菜、赖草等。该区分布着切沟、塌陷、缓台、陡坎、浅沟等微地形,因降水发生再分配而造

收稿日期: 2013-12-21 修回日期: 2014-01-17

* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD38B0601)

作者简介: 赵维军,博士生,主要从事水土保持与生态修复研究,E-mail: zwj_0920@126.com

通讯作者: 朱清科,教授,博士生导师,主要从事林业生态工程及农林复合研究,E-mail: zhuqingke@sohu.com

成土壤水分的空间差异。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤含水率的测量

本研究采用 TRIME-HD 型手持式读表高精度时域反射计测定合家沟封禁流域阳坡及半阳坡内包含的 5 种微地形及其所在原状坡的土壤含水率,每监测点垂直埋设长度为 2 m 的 PVC 管,每 20 cm 深度一层,每层重复测定 3 次取平均值,每次重复探针在水平方向上旋转 120°,监测点具体信息见表 1。土壤水分定点监测时间为 2008—2012 年的生长季,即 5 月初开始,10 月底结束,在 5~10 月份每隔 10 d 测定一次。为避免降水对土壤含水率的短期大幅影响,每次观测时间连续 7 日无明显降雨。

表 1 土壤水分监测点基本信息

Tab.1 Basic information of sample points

序号	微地形	坡向	坡度/(°)	海拔高度/m
W1	缓台	西	43	1 385
W2	塌陷	西	43	1 399
W3	陡坎	西	43	1 391
W4	切沟	西	43	1 390
W5	浅沟	西	30	1 401
W6	原状坡坡面	西	30	1 405
W7	缓坡	西	20	1 410
S1	沟坡坡面	南	50	1 420
S2	沟坡坡面	南	40	1 413
S3	切沟	南	40	1 411

1.2.2 土壤含水率的换算

采用时域反射计测量的土壤含水率为土壤体积含水率,本文涉及土壤水分补给深度,因此文中土壤水分以水层厚度(mm)表示^[25],生长季降水对土壤含水率的补给深度(mm)即为生长季末水层厚度与生长季初土壤水层厚度的差值,具体计算公式为

$$H = TS \tag{1}$$

$$D = D_m - D_c \tag{2}$$

式中 H ——土壤水层厚度,mm

T ——土层厚度,mm

S ——土壤容积含水率,%

D ——生长季土壤水分补给深度,mm

D_m ——生长季末期水层厚度,mm

D_c ——生长季初期水层厚度,mm

1.2.3 标准化降水指数定义及计算方法

由于不同时间、不同地区降水量变化幅度很大,直接用降水量很难在不同时空尺度上相互比较,而且降水分布是一种偏态分布,因此,McKee 等^[26]提出了应用标准化降水指数来评价降水量是属于充足还是缺乏。标准化降水指数是基于任何时间尺度的降水量的和来计算,对于时间尺度的选择根据研究

的目的而定,采用 Γ 分布概率来描述降水量的变化,然后再经正态标准化求得标准化降水指数^[27-28]。具体公式为

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (x > 0) \tag{3}$$

式中 $g(x)$ ——Gamma 分布 α ——形状参数
 β ——尺度参数 x ——降水量,mm
 Γ ——Gamma 函数

对形状和尺度参数的估计公式为

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \tag{4}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \tag{5}$$

其中 $A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln x}{n} \tag{6}$

式中 $\bar{x}$ ——多年平均降水量,mm

n ——观测点的数量

由被估计的 α 和 β 可得到降水量的累积概率分布函数 $G(x)$,再用转化函数将 $G(x)$ 转变为标准正态分布,最后通过计算得到标准化降水指数。

由于陕北黄土区干旱少雨,因此根据标准化降水指数参考 McKee 等^[26]提出的标准将降水年型划分为 9 类,即标准化降水指数小于 -1.96 的为极端干旱年份,介于 -1.96~ -1.48 的为严重干旱年份,介于 -1.48~ -1.00 的为中等干旱年份,介于 -1.00~ -0.50 的为轻微干旱年份,介于 -0.50~ 0.50 的为正常年份,介于 0.50~ 1.00 的为轻微湿润年份,介于 1.00~ 1.48 的为中等湿润年份,介于 1.48~ 1.96 的为非常湿润年份,大于 1.96 的为极端湿润年份。

1.2.4 数据分析

采用相关分析方法分析了不同微地形土壤水层厚度生长季变化值与标准化降水指数的相关性,利用方差分析、均值比较及多重比较等方法分析了不同微地形土壤水层厚度生长季变化值的差异性,统计分析方法均在 SPSS 17.0、Origin 8.0、Excel 2010 等软件中完成。

2 结果与分析

2.1 降水特征分析

2.1.1 近 56 年吴起县降水特征分析

1957—2012 年,56 年来陕北吴起县的大气降水量的波动可分为 2 个阶段(图 1),1957—1986 年,在 270.0~787.5 mm 的较大范围内波动,30 年的降水量均值为 482.8 mm,标准差为 133.7 mm,变异系数为 0.28;而 1987—2012 年,降水量则在 347.0~

590.8 mm 的较小范围内波动,其均值为 450.4 mm,标准差为 74.8 mm,变异系数为 0.16。虽然 1987 年以来的降水量均值小于 1957—1986 年的均值,但

1987—2012 年降水量的变异系数远小于 1957—1986 年。因此,近 26 年来,陕北吴起县降水量的变化趋势较为稳定。

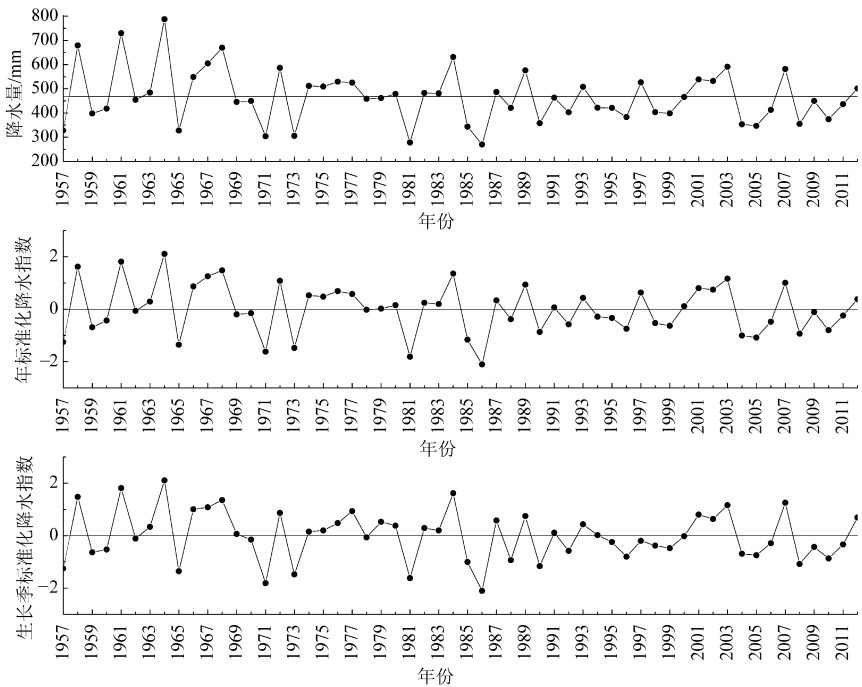


图 1 研究区 1957—2012 年大气降水情况和标准化降水指数

Fig. 1 Distribution of annual precipitation and SPI value from 1957 to 2012 in study site

年降水量是否充足仅依据年降水量的变化趋势很难作出判断,而标准化降水指数则可以很容易判断降水量是否充足^[27]。在 1957—2012 年间,SPI 值的变化情况与大气降水的变化趋势具有较好的一致性(图 1)。根据标准化降水指数划分 1957—2012 年间的降水年型中(表 2),平水年有 22 年,所占比例为 39.28%,极端干旱和极端湿润的年份均为 1 年,分别发生在 1986 年和 1964 年,严重干旱与非常湿润年份均为 2 年,均发生在 1957—1986 年间,中等干旱有 6 年,其中 4 年发生在 1957—1986 年;而在 1987—2012 年的近 26 年的降水年型中(表 2),

未出现极端干旱、严重干旱的年份,仅出现 2 个中等干旱年份。因此,与过去 30 年内极端干旱、严重干旱以及中等干旱出现 8 年相比,该研究区内近 26 年大气降水年型有向正常或湿润年份变化的趋势。

2.1.2 生长季降水特征分析

吴起县近 56 年来,生长季(5~10 月份)降水特征与全年降水特征基本一致(图 1),但生长季的降水特征分布与全年的存在微小差异,如 2008—2012 年间的生长季则出现中等干旱、轻微干旱、轻微湿润分别为 1 年,正常年份为 2 年,而全年降水特征则无中等干旱和轻微湿润年份,因此其降水特征较为典型。

2.2 降水特征与微地形土壤水分的关系

生长季的降水量直接影响着该区域不同微地形及均匀坡面土壤水分,进而影响地上植被的生长,且 2008—2012 年间生长季的降水特征与其对应的全年降水特征存在较大差异,因此采用 2008—2012 年间的生长季标准化降水指数与不同微地形生长季土壤水层厚度的变化值进行回归分析(图 2)。

结果显示,所有监测点土壤水层厚度在生长季的变化值均与生长季标准化降水指数呈正相关关系,即随着生长季降水量的增多所有监测点土壤水层厚度的变化值变大,且相关程度均较高($R^2 >$

表 2 根据标准化降水指数划分的近 56 年的降水年型

Tab. 2 Precipitation level based on SPI value from 1957 to 2012

降水年型	1957—1986		1987—2012	
	年数/a	比例/%	年数/a	比例/%
极端干旱	1	3.33	0	0
严重干旱	2	6.67	0	0
中等干旱	4	13.33	2	7.69
轻微干旱	1	3.33	7	26.92
平水年	11	36.68	11	42.32
轻微湿润	4	13.33	4	15.38
中等湿润	4	13.33	2	7.69
非常湿润	2	6.67	0	0
极端湿润	1	3.33	0	0

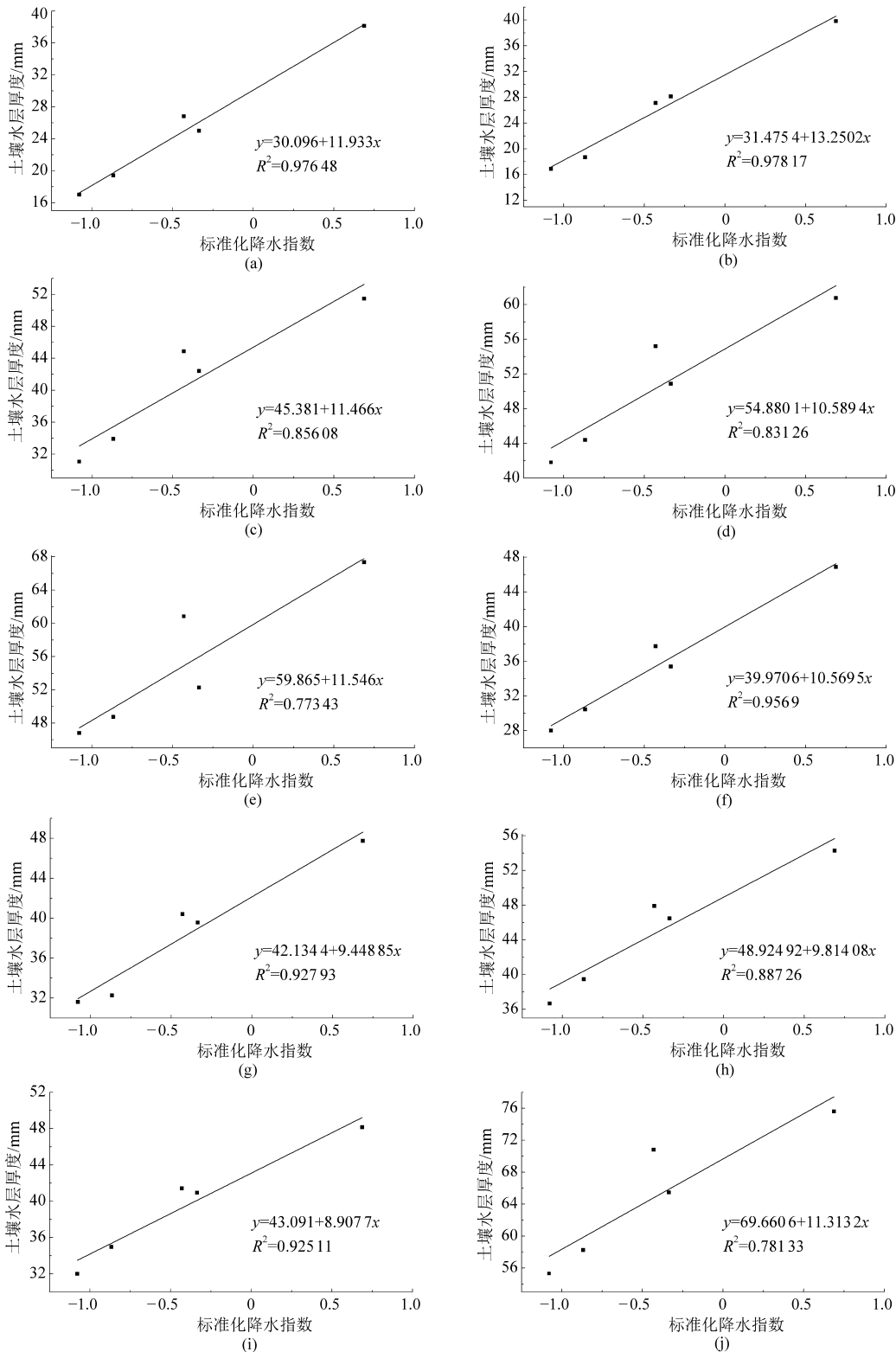


图 2 土壤水层厚度与生长季标准化降水指数的关系

Fig. 2 Relationship of water layer thickness and SPI-6 in growing season

(a) S1 监测点 (b) S2 监测点 (c) S3 监测点 (d) W1 监测点 (e) W2 监测点
(f) W3 监测点 (g) W4 监测点 (h) W5 监测点 (i) W6 监测点 (j) W7 监测点

0.75)。其中,缓坡监测点(W7)和塌陷监测点(W2)土壤水层厚度在生长季的变化值与生长季降水量的相关程度最低($R^2 < 0.8$),说明缓坡和塌陷监测点与其他监测点土壤水层厚度的变化相比对生

长季降水量的依赖性较低,从而说明缓坡、塌陷立地条件的集水效果最好,其次是切沟、缓台以及浅沟,原状坡坡面及陡坎对生长季降水量的依赖性最高,即集水效果最差。

2.3 不同微地形生长季土壤水分的差异性分析

2008—2012 年,不同微地形生长季的土壤水层厚度变化与生长季降水量呈正相关关系(图 2),但不同微地形生长季土壤水层厚度变化的均值间存在显著差异(图 3),尤其塌陷(W2)、缓坡(W7)的土壤水层厚度均值最高,且二者与其他微地形土壤水层厚度的差异显著。阳坡沟坡坡面 S1、S2 点的土壤水层厚度显著低于其他微地形的土壤水层厚度,而阳坡沟坡切沟(S3)的土壤水层厚度则除显著小于半阳坡塌陷(W2)和半阳坡缓坡(W7)的土壤水层厚度外,与半阳坡其他微地形的土壤水层厚度无显著差异。而半阳坡内部则表现为陡坎(W3)、沟坡坡面(W4)、原状坡坡面(W6)以及浅沟(W5)差异不显著,但陡坎的土壤水层厚度在半阳坡内部最低。

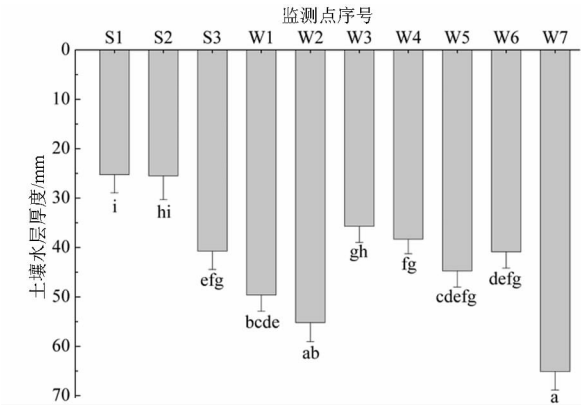


图 3 2008—2012 年微地形生长季土壤水层厚度均值
Fig. 3 Mean water layer thickness of different micro-topography types in growing season from 2008 to 2012

3 讨论

陕北黄土丘陵沟壑区属于干旱半干旱区,降水是坡地土壤水分补给的唯一来源。1957—2012 年,该区域分别出现了极端干旱和极端湿润年份各 1 年,严重干旱和非常湿润年份各 2 年,中等干旱和中等湿润年份各 6 年,而自 1986 年以来,只出现了中等干旱年份 2 年,降水有向正常或湿润年份增加的趋势,这可能主要是由于 20 世纪 80 年代黄土丘陵沟壑区就已开展了造林立地条件类型与适地适树研究^[29-30],林草覆盖率有所增加,土壤侵蚀与水土流

失得到有效控制^[31-32],生态环境得到改善。生长季土壤水层厚度的变化与生长季降水量呈正相关关系,主要是由于生长季降水量决定了土壤水分的有效补偿量,这与陈洪松等^[33]研究的土壤深层干燥化随降水年型的不同而不同是一致的,同时本研究中得出不同微地形生长季的土壤水层厚度存在较大差异,缓坡、塌陷、缓台、切沟以及浅沟在生长季土壤水层厚度变化值较陡坎和原状坡坡面的高,这主要是由于降水时坡面上的雨水由于重力作用都向沟底汇聚,从而使缓坡立地类型以及坡面上塌陷、切沟、缓台以及浅沟等微地形的入渗强度增大,而陡坎一般与缓台连接,相对缓台为极陡坡,因此坡面的雨水在陡坎上入渗时间极短,土壤水分极少,这与已有的关于地形对土壤水分有间接的影响^[34-35]以及微地形^[11, 20-21, 36]对土壤水分影响的研究结论相吻合。正是由于切沟等微地形入渗强度的差异,导致生长季不同微地形土壤水层厚度变化值的差异,也体现了塌陷、切沟等微地形具有更好的集水效果。

土壤水分影响着该区域生态恢复中的植被配置模式,充分利用微地形的土壤水分与集水效果差异优化植被配置模式,应将造成坡面片段化的微地形作为植被恢复重建的基本单元,从而加快改善陕北黄土丘陵沟壑区生态环境。

4 结论

- (1) 生长季土壤水层厚度的变化值存在显著差异,但对生长季降水量的响应均为正相关关系。
- (2) 半阳坡缓坡立地类型与陡坡坡面上的塌陷微地形生长季土壤水层厚度变化差异不显著,对生长季降水量的依赖性最低,且土壤水层厚度变化值最高,因此陡坡坡面上塌陷微地形与缓坡立地类型的土壤储水能力基本相似。
- (3) 阳坡沟坡上切沟的生长季土壤水层厚度变化值与半阳坡陡坡坡面上的缓台、浅沟以及原状坡坡面差异不显著,故阳坡陡坡坡面上的切沟微地形与半阳坡陡坡坡面或半阳坡坡面上缓台和浅沟的土壤储水能力基本相似。

参 考 文 献

1 Chen L, Huang Z, Gong J, et al. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China[J]. Catena, 2007, 70(2): 200-208.

2 Moreno-De Las Heras M, Espigares T, Merino-Martín L, et al. Water-related ecological impacts of rill erosion processes in Mediterranean-dry reclaimed slopes[J]. Catena, 2011, 84(3): 114-124.

3 Fu B J, Wang J, Chen L D, et al. The effects of land use on soil moisture variation in the Danangou catchment of the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2003, 54(1-2): 197-213.

4 朱清科,张岩,赵磊磊,等. 陕北黄土高原植被恢复及近自然造林[M]. 北京: 科学出版社, 2012:31,329.

5 姚雪玲,傅伯杰,吕一河. 黄土丘陵沟壑区坡面尺度土壤水分空间变异及影响因子[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 4961-4968.

Yao Xueling,Fu Bojie,Lü Yihe. Spatial patterns of soil moisture at transect scale in the Loess Plateau of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(16): 4961 – 4968. (in Chinese)

6 邹文秀,韩晓增,江恒,等. 东北黑土区降水特征及其对土壤水分的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 196 – 202.
Zou Wenxiu, Han Xiaozeng, Jiang Heng, et al. Characteristics of precipitation in black soil region and response of soil moisture dynamics in Northeast China[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(9): 196 – 202. (in Chinese)

7 余冬立,邵明安,俞双恩. 黄土高原典型植被覆盖下 SPAC 系统水量平衡模拟[J]. 农业机械学报, 2011, 42(5): 73 – 78.
She Dongli, Shao Ming'an, Yu Shuangen. Water balance simulation in SPAC systems of slope lands covered with typical vegetations on Loess Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(5): 73 – 78. (in Chinese)

8 云雷,毕华兴,田晓玲,等. 晋西黄土区林草复合界面雨后土壤水分空间变异规律研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 938 – 944.
Yun Lei, Bi Huaxing, Tian Xiaoling, et al. Research on spatial heterogeneity of soil moisture after raining at forest-grassland boundary in the Loess region of west Shanxi[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(4): 938 – 944. (in Chinese)

9 王延平,邵明安,张兴昌. 陕北黄土区陡坡地人工植被的土壤水分生态环境[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3769 – 3778.
Wang Yanping, Shao Ming'an, Zhang Xingchang. Soil moisture ecological environment of artificial vegetations in steep slope of loess region in North Shaanxi Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3769 – 3778. (in Chinese)

10 余冬立,邵明安,俞双恩. 黄土区农草混合利用坡面土壤水分空间变异性[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 57 – 63.
She Dongli, Shao Ming'an, Yu Shuangen. Spatial variability of soil water content on a cropland-grassland mixed slope land in the Loess Plateau, China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 57 – 63. (in Chinese)

11 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.
Li Ping, Zhu Qingke, Zhao Leilei, et al. Soil moisture of fish-scale pit during rainy season in loess hilly and gully region[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 76 – 81. (in Chinese)

12 Nagamatsu D, Miura O. Soil disturbance regime in relation to micro-scale landforms and its effects on vegetation structure in a hilly area in Japan[J]. Plant Ecology, 1997, 133(2): 191 – 200.

13 Thompson S E, Katul G G, Porporato A. Role of microtopography in rainfall-runoff partitioning: an analysis using idealized geometry[J]. Water Resources Research, 2010, 46(7): W7520.

14 Tsutomu E. Microtopography and distribution of canopy trees in a subtropical evergreen broad-leaved forest in the northern part of Okinawa Island, Japan[J]. Ecological Research, 2003, 18(2): 103 – 113.

15 Koponen P, Nygren P, Sabatier D, et al. Tree species diversity and forest structure in relation to microtopography in a tropical freshwater swamp forest in French Guiana[J]. Plant Ecology, 2004, 173(1): 17 – 32.

16 王晶,朱清科,赵荟,等. 陕北黄土区阳坡微地形土壤水分特征研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(4): 16 – 21.
Wang Jing, Zhu Qingke, Zhao Hui, et al. Soil moisture characteristics of micro-topography in south slope of Loess Region in Northern Shaanxi Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(4): 16 – 21. (in Chinese)

17 赵维军,许智超,张岩,等. 半干旱黄土区沟间地浅沟分布特征[J]. 干旱区研究, 2011, 28(4): 586 – 591.
Zhao Weijun, Xu Zhichao, Zhang Yan, et al. Study on distribution of ephemeral gullies in semiarid loess area[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(4): 586 – 591. (in Chinese)

18 秦伟,朱清科,赵磊磊,等. 基于 RS 和 GIS 的黄土丘陵沟壑区浅沟侵蚀地形特征研究[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 58 – 64.
Qin Wei, Zhu Qingke, Zhao Leilei, et al. Topographic characteristics of ephemeral gully erosion in loess hilly and gully region based on RS and GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 58 – 64. (in Chinese)

19 邝高明,朱清科,赵磊磊,等. 黄土丘陵沟壑区陡坡微地形分布研究[J]. 干旱区研究, 2012, 29(6): 1083 – 1088.
Kuang Gaoming, Zhu Qingke, Zhao Leilei, et al. Study on distribution of microrelieves on steep slopes in a Loess Hilly-gully Region[J]. Arid Zone Research, 2012, 29(6): 1083 – 1088. (in Chinese)

20 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.
Lu Baochang, Xue Zhide, Zhu Qingke, et al. Soil water in micro - terrain on sunny and semi-sunny slopes[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009, 29(1): 62 – 65. (in Chinese)

21 赵荟,朱清科,秦伟,等. 黄土高原干旱阳坡微地形土壤水分特征研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(3): 64 – 68.
Zhao Hui, Zhu Qingke, Qin Wei, et al. Soil moisture characteristics on microrelief of dry south-slope on the Loess Plateau[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(3): 64 – 68. (in Chinese)

22 张宏芝,朱清科,王晶,等. 陕北黄土坡面微地形土壤物理性质研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(6): 55 – 58.
Zhang Hongzhi, Zhu Qingke, Wang Jing, et al. Soil physical properties of micro-topography on loess slope in north Shaanxi Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(6): 55 – 58. (in Chinese)

23 Huo Z, Shao M A, Horton R. Impact of gully on soil moisture of shrubland in wind-water erosion crisscross region of the Loess Plateau[J]. Pedosphere, 2008, 18(5): 674 – 680.

24 邹厚远,梁一民,孙建亭. 关于陕北黄土区植被区划问题的初步研究[J]. 植物学报, 1980, 22(4): 399 – 401.
Zou Houyuan, Liang Yimin, Sun Jianting. A preliminary study on vegetation regionalism in Loess Plateau of the North Shaanxi Province[J]. Acta Botanica Sinica, 1980, 22(4): 399 – 401. (in Chinese)

25 王中堂. 有机物料覆盖对桃园土壤理化性质及桃生长结果的影响[D]. 泰安:山东农业大学, 2011.

Wang Zhongtang. Effect of different organic coverage treatments on the soil properties of peach orchard and plant growth and fruit [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2011. (in Chinese)

26 McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]. 8th Conference on Applied Climatology, 1993.

27 Lloyd-Hughes B, Saunders M A. A drought climatology for Europe[J]. International Journal of Climatology, 2002, 22(13): 1571 – 1592.

28 黄晚华,杨晓光,李茂松,等. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58a 演变特征[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 50 – 59.

Huang Wanhua, Yang Xiaoguang, Li Maosong, et al. Evolution characteristics of seasonal drought in the south of China during the past 58 years based on standardized precipitation index[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(7): 50 – 59. (in Chinese)

29 罗伟祥,邹年根,韩恩贤,等. 陕西黄土高原造林立地条件类型划分及适地适树研究报告[J]. 陕西林业科技, 1985(1): 1 – 16.

30 侯喜禄. 实验区土壤水分动态与树种布设[J]. 水土保持通报, 1985, 5(4): 9 – 12.

31 赵维军,刘宪春,张岩,等. 基于均匀抽样调查的半干旱黄土区土壤侵蚀动态研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(4): 125 – 130.

Zhao Weijun, Liu Xianchun, Zhang Yan, et al. An analysis on dynamic changes of soil erosion in semiarid loess area based on uniform sampling[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33(4): 125 – 130. (in Chinese)

32 晏清洪,原翠萍,雷廷武,等. 降雨类型和水土保持对黄土区小流域水土流失的影响[J]. 农业机械学报, 2014, 45(2): 169 – 175.

Yan Qinghong, Yuan Cuiping, Lei Tingwu, et al. Effect of rainstorm patterns and soil erosion control practices on soil and water loss in small watershed on loess plateau[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(2): 169 – 175. (in Chinese)

33 陈洪松,邵明安,王克林. 黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2491 – 2498.

Chen Hongsong, Shao Ming'an, Wang Kelin. Desiccation of deep soil layer and soil water cycle characteristics on the Loess Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(10): 2491 – 2498.

34 Bogen H R, Herbst M, Huisman J A, et al. Potential of wireless sensor networks for measuring soil water content variability[J]. Vadose Zone Journal, 2010, 9(4): 1002 – 1013.

35 Gao X, Wu P, Zhao X, et al. Soil moisture variability along transects over a well-developed gully in the Loess Plateau, China [J]. Catena, 2011, 87(3): 357 – 367.

36 邝高明,朱清科,刘中奇,等. 黄土丘陵沟壑区微地形对土壤水分及生物量的影响[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 74 – 77.

Kuang Gaoming, Zhu Qingke, Liu Zhongqi, et al. Effect of microrelief on the soil water and vegetation arrangement in loess hilly and gully region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(3): 74 – 77. (in Chinese)

Response of Soil Moisture of Microtopography on Precipitation
Characteristics in the Loess Region of Northern Shaanxi

Zhao Weijun Ma Huan Zhu Qingke Zhang Yan Liu Leilei Wang Yu
(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combat, Ministry of Education,
Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Standard precipitation index (SPI) was used to analyze the annual and growing season precipitation conditions from 1957 to 2012 based on the precipitation data of meteorological station in Wuqi County. The correlation analysis was used between the SPI and the soil water layer thickness of the microtopographies during 2008—2012. The results showed that the precipitation fluctuation was larger from 1957 to 1986 than that from 1987 to 2012. The extreme and severe drought years appeared in 1957—1986, but those did not appear during 1987—2012; there was positive correlation between the SPI of growing season and the change value of soil water layer thickness of microtopographies. The SPI of growing season had the lower correlation degree ($R^2 < 0.8$) with the gentle slope and sink hole of steep slope, but the R^2 lay between 0.8 and 0.9 with gully, platform and ephemeral gully. The SPI of growing season had the larger correlation degree ($R^2 > 0.9$) with scarp, sunny uniform slope and half sunny uniform slope; and the difference among the change value of soil water layer thickness in the all monitoring points was significant in the growing season, and the mean soil water layer thickness of gentle slope, sink hole and platform was larger than those of other monitoring points.

Key words: Loess region of Northern Shaanxi Microtopography Soil moisture Precipitation
Standard precipitation index (SPI)