

黄土丘陵区多次降雨补充下草灌地 土壤水分空间变化规律

赵鹏宇¹, 徐学选²

(1.忻州师范学院地理系, 山西 忻州 034000; 2.中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 利用黄土丘陵区燕沟流域42场模拟降雨下土壤水分观测数据, 研究2种坡度的草地、灌木地在不同经营方式(原状地、刈割地、翻耕地)下的土壤水分对模拟降雨的响应。结果表明:(1)在5次降雨补充下, 依据土壤水分的标准差和变异系数, 0~100 cm土壤水分受土地经营方式影响表现为: 原状草灌地土壤水分可划分为活跃层、次活跃层和相对稳定层; 刈割地全剖面为相对稳定层, 翻耕地可分为活跃层和相对稳定层。(2)单次降雨事件则随降雨量增加, 各经营方式下的水分活跃层逐渐变薄或消失, 次活跃层变厚, 而相对稳定层变薄, 整个土壤剖面水分变化趋于一致。(3)对于受高强度降雨补充后的土壤水分变异性分层, 建议采用更加灵敏的土壤水分标准差和变异系数判别标准: 活跃层, 标准差大于1.4%, 变异系数大于12%; 次活跃层, 标准差1.4%~0.9%, 变异系数12%~8%; 相对稳定层, 标准差小于0.9%, 变异系数小于8%。(4)坡度越小土壤水分含量越高, 坡度对草灌木地、刈割地的影响较翻耕地显著, 且对50~100 cm土层水分影响远大于对表层0~50 cm的影响。总之, 降雨后土壤水分0~100 cm土层不断增加, 且剖面土壤水分逐渐一致, 土地经营方式、坡度因素对土壤水分变化强度和在不同深度土层中的表现有显著影响。

关键词: 黄土丘陵区; 土壤水分; 空间变化; 草灌地

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)04-0009-05

土壤水分的研究, 一直是黄土丘陵区水分利用和环境整治的主要研究内容, 其中在土壤水分空间变异性及其影响因子研究领域取得了许多重要成果^[1-2], 研究内容亦空前广泛, 除了土壤本身的性质以外, 降雨特征、土地利用方式、地形等环境因子都会影响土壤水分空间变异性^[3-5], 邱扬等^[6]对黄土区小流域土壤水分空间变异性及其影响因子研究结果表明, 其空间变异性是多重尺度上环境因子共同作用的结果, 杨文治等^[7]、徐学选等^[8-9]通过长期定位观察, 在区域尺度上研究了黄土区土壤水分空间差异, 从宏观角度上得到土壤水分变化的大趋势, 因而模糊了区域内的小差异, 如降雨特征、土地经营方式、地形等, 不能突显这些因子的作用, 而且研究方法是天然降雨为基础, 天然降雨复杂多变, 短期内不可能取得重复性监测结果, 对甄别不同因子的贡献和检验分析成果都有很大局限性。为此, 在延安燕沟流域以不同经营方式(原状地、刈割地、翻耕地)开展野外人工降雨模拟试验, 借助经典统计方法定量分析黄土区草灌地经营方式、坡度、降雨量等因素作用下的土壤水分差异性, 明确黄土区土壤水分变化规律及影响因素, 可为区域环境整治和植被恢复

建设提供科学依据。

1 研究区概况

燕沟流域位于延安市南3 km处, E109°20'00"~109°35'00", N36°20'00"~36°32'00", 属黄土高原丘陵沟壑区第Ⅱ副区。流域面积47 km²。处于暖温带半湿润气候向半干旱气候过渡带, 年平均气温9.8℃, 多年平均降水量572 mm, 年最大降水量871.2 mm, 年最小降水量330 mm。降雨时空分布不均, 57%的降雨集中于夏季6~9月, 特别是7~8月, 多以暴雨形式出现, 通过暴雨频率计算, 延安燕沟流域10年一遇24 h暴雨量为110 mm, 20年一遇24 h暴雨量为130 mm, 年蒸发量1 000 mm左右, 年径流深35 mm。草丛植被主要为长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)等, 灌丛植被主要有铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、白刺花(*Sophora viciifolia hance*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)、杠柳(*Periploca sepium bunge*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)和甘草(*Radix glycyrrhiza*)等。

收稿日期: 2011-12-10

基金项目: 2012年忻州师范学院专题研究项目(ZT201214); 中科院知识创新工程西部项目“黄土高原水土保持与可持续生态建设试验示范研究”(KZCX2-XB2-05)

作者简介: 赵鹏宇(1981—), 男, 山西保德人, 硕士研究生, 主要从事植物土壤与水土保持方面研究。E-mail: 497154516@qq.com。

通讯作者: 徐学选(1966—), 男, 研究员。E-mail: xuxuexuan@nwsuaf.edu.cn。

2 研究方法

2.1 降雨模拟

试验采用组合侧喷式野外人工降雨装置^[10]进行坡面模拟降雨试验。降雨时间选择在盛夏 7~8 月份的清晨,风力较小,两次降雨间隔约 24 h。降雨量由喷头孔板孔径决定,降雨历时为 40 min,降雨量测定方法为在小区四周均匀放置 4 个雨量桶,量测雨量取平均值。

2.2 试验处理

根据试验条件,选取流域内 7° 缓坡和 26° 陡坡 2 种坡度,退耕年限为 20 a 以上的代表性草地和灌木地(下称草灌地)设立试验小区,试验小区投影面积均为 5 m × 1 m,坡向均为 E90°,小区内植被盖度为 70%~80%。降雨量设定 5 级,分别为 46、55、62、73 mm 和 85 mm,由于野外条件限制,陡坡只有 62 mm 和 85 mm 两个降雨量试验。

土地经营方式包括对照(草灌地)、刈割(完全去除地上部分与枯落物)和翻耕(20 cm)3 种。处理方式包括原状处理(草地、灌木地)、刈割处理(刈割草地、刈割灌木地)和翻耕处理(翻耕草地、翻耕灌木地)6 个处理。共计 1 × 5 × 6 + 1 × 2 × 6 = 42 场降雨。

2.3 土壤水分测定

土壤水分用土钻法测定,每场降雨后的第 2 天,测定小区 0~100 cm 土壤水分,每隔 10 cm 土层取样,采用烘干法,得到土壤质量含水量。

3 结果与分析

3.1 不同处理方式下土壤水分的垂直变化特征

由于陡坡 26° 只有 2 个降雨量级别,所以仅以缓坡 7° 为例,分别将不同处理方式相同深度 5 次降雨后土壤水分取平均值进行分析,不同处理方式土壤水分垂直变化特征见图 1 和表 1。可见土壤剖面水分从表层到深层表现为增长型,且变异系数不断变小,稳定性增强。以翻耕草地为例,表层 0~10 cm 处土壤平均水分含量最低(17.2%),变异系数最大(12.4%),以下土壤水分含量逐渐增大;30 cm 深度土壤平均水分含量为 18.6%,变异系数变小(2.56%);80 cm 深度土壤平均水分含量为 19.0%,变异系数进一步减小(2.33%)。

可见,不同深度土壤水分含量差异明显。由于本试验旨在分析短时段、高强度补水情况下浅层土壤水分增加强度的差异,即土壤水分含量在相对较高,或者接近饱和的高湿度条件下的弱变异系数和标准差,因此,结合试验条件,以灌木地土壤水分为

参照制定了黄土剖面 0~100 cm 分层标准划分:活跃层,标准差大于 1.4%,变异系数大于 12%;次活跃层,标准差 1.4%~0.9%,变异系数 12%~8%;相对稳定层,标准差小于 0.9%,变异系数小于 8%。当标准差、变异系数不能同时满足分级标准时,以变异系数为准。活跃等级反映了受外界环境和水分补充程度影响下土壤水分变化快慢的特征。

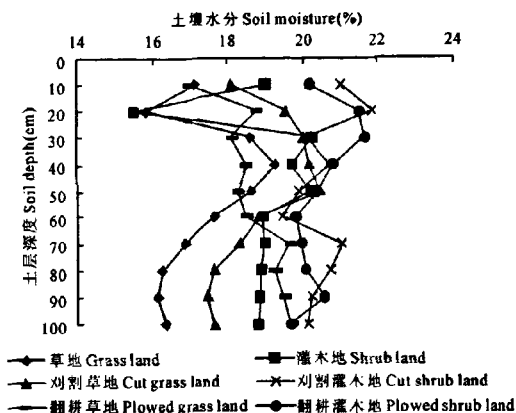


图 1 不同处理下土壤水分含量垂直变化特征

Fig.1 Vertical variation characteristics of soil moisture under different treatments

3.2 土地经营方式对土壤剖面水分变化的影响

在总降雨量达到 291.2~357.7 mm 的情况下,不同处理方式土壤水分含量显著不同(表 1)。0~100 cm 土层深度土壤平均水分含量:翻耕灌木地(20.1%~23.4%)>刈割灌木地(19.5%~21.9%)>灌木地(18.5%~19.6%)>翻耕草地(17.2%~20.6%)>刈割草地(18.1%~19.3%)>草地(15.6%~17.5%)。翻耕处理较刈割处理更有利于提高土壤储水,因为翻耕破坏了土壤表面结皮,增加了地面糙度,有利于较多水分渗入下层,所以土壤水分较另外 2 个处理高。

不同土地经营方式,不同土层深度土壤水分活跃性差异明显(表 1),草灌地整个土壤剖面从上到下土壤水分变异系数可用“大、小、大”描述。刈割地可用“小”,翻耕地可用“大、小”描述。由此可见,草灌地可划分为 3 层,即活跃层(0~10 cm)、相对稳定层(10~70 cm)和次活跃层(70~100 cm);刈割地分为 1 层 0~100 cm,即相对稳定层;翻耕地可分为活跃层(0~10 cm)和相对稳定层(10~100 cm)2 层。

总之,土地经营方式是影响土壤水分垂直变化的一个重要因素,除气候和土壤因素外,合理的土地经营可促成黄土区深层贮水能力,黄土区选择灌木较选择草被能更好地接纳降雨,增加土壤水分。

表 1 不同处理土壤水分垂直分层特征
Table 1 Vertical moisture characteristics of soil layers under different treatments

总降雨量(mm) Total rainfall	处理方式 Treatments	土层深度(cm) Soil depth	土壤水分(%) Soil water content	标准差(%) Standard deviation	变异系数(%) Variation coefficient	活跃等级 Grade of activity
319.8	草地 Grass land	0~10	15.7	3.81	24.1	活跃 Active
		10~70	15.7~17.5	0.90~1.30	5.4~7.4	相对稳定 Relatively steady
		70~100	15.6~16.9	1.30~2.69	8.4~17.2	次活跃 Sub-active
301.1	刈割草地 Cut grass land	0~100	18.1~19.3	0.55~1.16	2.5~6.2	相对稳定 Relatively steady
291.2	翻耕草地 Plowed grass land	0~10	17.2	2.14	12.4	活跃 Active
		10~100	17.2~20.6	0.47~1.08	2.5~5.4	相对稳定 Relatively steady
336.8	灌木地 Shrub land	0~10	19.2	2.68	13.9	活跃 Active
		10~70	19.5~19.6	0.96~1.41	4.2~7.1	相对稳定 Relatively steady
		70~100	19.4~18.5	1.53~2.54	8.0~13.7	次活跃 Sub-active
357.7	刈割灌木地 Cut shrub land	0~100	19.5~21.9	0.44~2.21	1.7~10.0	相对稳定 Relatively steady
329.4	翻耕灌木地 Plowed shrub land	0~10	20.9	3.03	13.6	活跃 Active
		10~100	20.1~23.4	0.95~1.83	4.2~8.3	相对稳定 Relatively steady

3.3 降雨量对土壤水分空间变化的影响

表 2 为缓坡 7°不同降雨量条件下不同处理方式土壤水分的垂直分层特征,可见,在相同降雨量条件下,土壤水分变异系数随土层深度由浅至深表现为“大,小,大”的特点,活跃等级表现为活跃(次活跃)、相对稳定、活跃(次活跃)。当降雨量为 46、55、62、73 mm 和 85 mm 时,0~100 cm 土层深度土壤平均水分含量依次为 18.3%~19.7%、17.7%~19.6%、

18.2%~20.0%、17.7%~20.5%和 19.0%~20.8%。随降雨量增加,0~100 cm 土层土壤水分变异系数变小,水分活跃等级降低。降雨量达到 62 mm 时,0~20、60~100 cm 土层土壤水分由活跃等级降到次活跃等级,活跃层消失;当降雨量增加到 85 mm 时,相对稳定层厚度减少,从 20~60 cm 缩小到 20~30 cm,次活跃层变厚,从 60~100 cm 扩大到 30~100 cm;同时,整个土壤剖面水分变化趋于均质化。

表 2 不同降雨量条件下土壤水分的垂直分层特征
Table 2 Vertical moisture characteristics of soil layers under different rainfall

设计降雨量 Designed rainfall (mm)	实际降雨量 Actual rainfall (mm)	土层深度 Soil depth (cm)	平均水分含量 Average soil water content (%)	标准差 Standard deviation (%)	变异系数(%) Variation coefficient	活跃等级 Grade of activity
46	43.3~57.0	0~20	18.3~19.4	1.81~4.52	9.3~24.9	活跃 Active
		20~70	18.9~19.5	0.91~1.57	3.8~8.4	相对稳定 Relatively steady
		70~100	18.4~19.7	2.11~3.32	11.3~18.1	活跃 Active
55	48.8~63.3	0~20	19.1~19.6	2.31~3.20	12.3~15.3	活跃 Active
		20~70	19.0~19.3	1.36~1.60	6.7~8.7	相对稳定 Relatively steady
		70~100	17.7~19.3	2.52~3.33	13.4~18.7	活跃 Active
62	57.3~71.1	0~20	18.2~19.9	1.85~2.13	9.8~11.7	次活跃 Sub-active
		20~60	19.4~20.0	0.73~1.62	2.3~5.7	相对稳定 Relatively steady
		60~100	18.8~19.6	2.16~2.61	8.2~13.3	次活跃 Sub-active
73	69.4~86.0	0~20	17.7~18.0	1.62~2.20	9.3~12.2	次活跃 Sub-active
		20~50	19.1~19.6	0.75~1.63	3.9~5.4	相对稳定 Relatively steady
		50~100	19.0~20.5	1.58~3.03	8.4~14.6	次活跃 Sub-active
85	76.4~92.1	0~20	19.0~20.7	1.45~2.03	7.3~10.1	次活跃 Sub-active
		20~30	20.2	1.35	6.4	相对稳定 Relatively steady
		30~100	19.6~20.8	1.35~2.50	9.4~12.9	次活跃 Sub-active

王晓燕等^[11-13]通过 3 a 降雨资料对红壤土壤(0~90 cm)水分(体积含水量)时空变化规律研究结

论认为,随年降雨总量增加,活跃层消失,相对稳定层范围增大,水分活跃性减弱。本试验结论与之有

一定差异,可能是由于活跃等级划分、土壤质地、土壤水分度量(质量含水量与体积含水量)与观测方法存在差异,其原因有待进一步研究。总之,土壤水分的空间变化与降雨量关系密切,丰富的降雨量可以减弱土壤水分空间变化强度,土壤剖面水分变化趋于一致,有利于深层土壤贮水。

3.4 坡度对土壤水分空间变化的影响

图 2(a)和图 2(b)为不同坡度不同处理在降雨量为 73 mm 时的土壤水分变化特征。

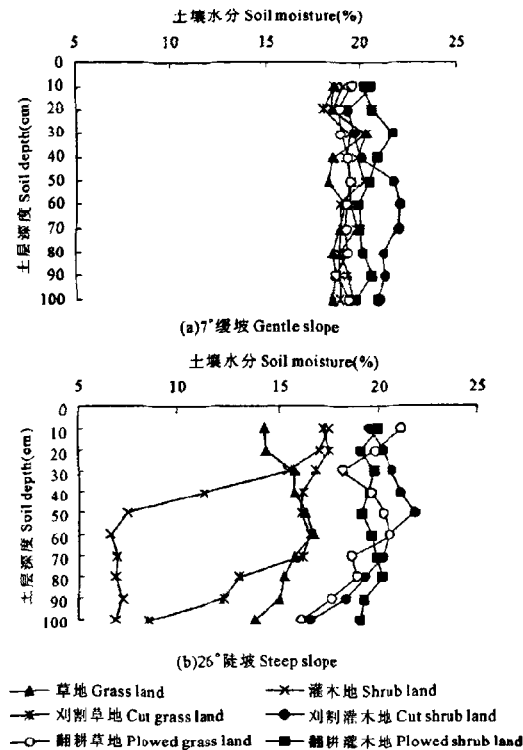


图 2 不同坡度不同处理方式土壤水分变化特征

Fig. 2 Variation characteristics of soil moisture under different slopes and treatments

在不同处理方式下 2 种坡度土壤水分变化差异明显, 7° 缓坡平均土壤含水量明显高于 26° 陡坡, 因为坡度大时, 地表径流多, 土壤入渗量减少, 灌木地耗水多, 50 ~ 100 cm 土层水分负平衡, 因而含量低。在草地、灌木地、刈割草地、刈割灌木地表现尤为明显; 且不同土层, 变异程度也不尽相同, 草地在 0 ~ 100 cm, 7° 坡平均含水量比 26° 坡高 3.4%; 灌木地在 0 ~ 30 cm、30 ~ 100 cm, 前者比后者分别高 2.7%、11.4%; 刈割草地在 0 ~ 20、20 ~ 100 cm 前者比后者分别高 0.9%、4.8%; 刈割灌木地 0 ~ 50、50 ~ 100 cm 前者比后者分别高 0.8%、4.1%; 而翻耕草地和翻耕灌木地在 0 ~ 100 cm, 7° 坡平均含水量

比 26° 坡仅高 0.3%; 随坡度变化差异并不明显。但图 2(b)中刈割草地 50 ~ 100 cm 土层水分含量小于草地, 可能原因是, 没有地表截留, 入渗量减小。

由此可见, 坡度越小土壤水分含量越高, 坡度对水分的影响与处理方式有关, 且对 50 ~ 100 cm 土层深的影响远大于对 0 ~ 50 cm 的影响。这是由于, 50 ~ 100 cm 土层土壤蒸发强烈, 而又最先得得到降雨补充, 水分变异较大。

坡度作为地形因子对土壤水分的影响研究取得了较多重要成果。段建军等^[14]对延安 2 ~ 5 m 土层水分研究表明: 土壤水分含量随坡度的增大而降低。孙中峰等^[15]对晋西黄土区土壤水分研究表明, 坡度越小土壤水分含量越高, 20° ~ 30° 坡面土壤水分与小于 15° 坡面土壤水分差异显著。但李笑吟等^[16]认为, 坡度对土壤水分的影响程度相对较小, 随坡度的增加出现先增加后减小的趋势。在本文研究的坡度范围均支持了以上的研究成果。

4 结 论

1) 5 次降雨后不同处理方式下 0 ~ 100 cm 土壤水分变化有显著差异, 可将土壤水分活跃等级划分为活跃(次活跃)、相对稳定、活跃(次活跃)等层次。分析结果为: 草灌地具有活跃层(0 ~ 10 cm)、相对稳定层(10 ~ 70 cm)和次活跃层(70 ~ 100 cm); 刈割处理地仅存相对稳定层(0 ~ 100 cm), 翻耕地可分为活跃层(0 ~ 10 cm)和相对稳定层(10 ~ 100 cm)。

2) 当降雨量从小到大(46、55、62、73 mm 和 85 mm)增加时, 0 ~ 100 cm 土层的土壤水分活跃等级降低, 活跃层变薄, 次活跃层加厚, 而相对稳定层变薄, 整个土壤剖面水分变化趋于一致。

3) 对于受高强度降雨补充的土壤水分变异性分层, 建议采用更加灵敏的判别标准, 依据土壤水分标准差 S 和变异系数 CV , 可采用黄土坡面 0 ~ 100 cm 分层划分标准, 即活跃层, 标准差大于 1.4%, 变异系数大于 12%; 次活跃层, 标准差 1.4% ~ 0.9%, 变异系数 12% ~ 8%; 相对稳定层, 标准差小于 0.9%, 变异系数小于 8%。

4) 不同处理方式下平均含水量不同, 其大小排序为: 翻耕灌木地 > 刈割灌木地 > 灌木地 > 翻耕草地 > 刈割草地 > 草地, 即翻耕处理最高, 原状处理最低。灌木地各处理较草地各处理更能接受降雨入渗, 其土壤水分含量均高于草地各种处理。

5) 缓坡有利于土壤接纳降雨补充, 坡度对水分的影响还与土地经营方式有关, 坡度对原状处理、刈割处理的影响较翻耕处理显著, 且对 50 ~ 100 cm 水分影响远大于对表层 0 ~ 50 cm 的影响。

5 展 望

试验存在的问题,一次土壤水分取样,既作为前一场降雨的雨后水分数据,又作为本场降雨的前期土壤水分含量背景值。由于天气原因,以及采样时间微小差异,影响了土壤水分的精确性和可靠性。

许多研究表明^[11-14]降雨总量增加后,土壤水分活跃层逐渐消失,相对稳定层范围增大,水分活性减弱。本试验细化活跃等级,提高分级密度,可对连续降雨补充的土壤水分变化进行划分。但是,划分的实践意义还有待继续探讨。

参考文献:

- [1] Famiglietti J S, Rudnicki J W, Rodell M. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas[J]. *Journal of Hydrology*, 1998, 210:259-218.
- [2] Hawley M E, Jackson T J, McCuen R H. Surface soil moisture variation on small agricultural watersheds[J]. *Journal of Hydrology*, 1983, 62:179-200.
- [3] 张北赢,徐学选,李贵玉,等.土壤水分基础理论及其应用研究进展[J]. *中国水土保持科学*, 2007, 5(2):122-129.
- [4] 陈洪松,邵明安,王克林,等.黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(10):1853-1857.
- [5] 姜 娜,邵明安,雷廷武,等.水蚀风蚀交错带典型土地利用方式土壤水分变化特征[J]. *北京林业大学学报*, 2007, 29(6):134-137.
- [6] 邱 扬,傅伯杰,王 军,等.黄土丘陵区小流域土壤水分的空间异质性及其影响因子[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(5):715-720.
- [7] 杨文治,邵明安,彭新德,等.黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系[J]. *中国科学 D 辑*, 2007, 30(5):1-5.
- [8] 徐学选,张北赢,尉桐军.黄土丘陵区降雨、径流、土壤水分的时空分布与利用对策[J]. *生态环境*, 2005, 14(6):890-893.
- [9] 徐学选,刘文兆,高 鹏,等.黄土丘陵区土壤水分空间分布差异性探讨[J]. *生态环境*, 2003, 12(1):52-55.
- [10] 陈文亮.组合侧喷式野外人工降雨装置[J]. *水土保持通报*, 1984, 4(5):43-47.
- [11] 李洪建,王孟本,柴宝峰.黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(4):515-519.
- [12] 潘颜霞,王新平,苏廷佳,等.不同植被类型沙地表层土壤水分变化特征[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(5):106-109.
- [13] 王小燕,陈洪松,王克林,等.不同利用方式下红壤坡地土壤水分时空动态变化规律研究[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(2):110-113.
- [14] 段建军.黄土高原地区土壤干层的分布状况与时空动态研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2006.
- [15] 孙中峰,张学培.晋西黄土区坡面尺度土壤水分分布规律研究[J]. *水土保持通报*, 2006, 26(5):27-30.
- [16] 李笑吟,毕华兴,张 志,等.晋西黄土区坡面尺度地形因子对土壤水分状况的影响[J]. *北京林业大学学报*, 2006, 28(4):51-56.

Spatial variation of soil moisture on the grass and shrub land under multiple rainfall's supplement in Loess hilly area

ZHAO Peng-yu¹, XU Xue-xuan²

(1. Department of Geography, Xinzhou Teachers University, Xinzhou, Shanxi 034000, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the observation data of soil moisture under 42 simulated rainfalls in Yangou watershed of the Loess hilly area, responses of soil moisture to the simulated rainfalls on grass land and shrub land under two slopes with different management methods (undisturbed, cutting, plowing) were studied. The results were as follows: Under five supplementary rainfalls, according to the standard deviation and variation coefficient of soil moisture, the effect of land management on soil moisture in the 0 ~ 100 cm soil layers showed that: the soil moisture in undisturbed grassbush land could be divided into active layer, relatively steady layer and sub-active layer; the whole soil profile of cutting land was a relatively steady layer; plowed land was divided into active layer and relatively steady layer. Under a single rainfall, the active and relatively steady layers would become thinner gradually or disappear with the increase of precipitation, while the sub-active layer increased, changes of the moisture content in the whole soil profile tended to be uniform. It was suggested that more sensitive discrimination standards which were standard deviation and variation coefficient should be used to divide the soil layer according to moisture variability under high intensity supplementary rainfall: active layer, standard deviation > 1.4%, variation coefficient > 12%; sub-active layer, 1.4% > standard deviation > 0.9%, 12% > variation coefficient > 8%; relatively steady layer, standard deviation < 0.9%, variation coefficient < 8%. Soil moisture increased with the decreasing of slope. Slope had a more significant effect on soil moisture in undisturbed land and cutting land compared to plowed land, and the effect of slope on soil moisture in 50 ~ 100 cm soil layer was more significant than that in 0 ~ 50 cm soil layer. In conclusion, soil moisture in depth of 0 ~ 100 cm gradually increased after a single rainfall, and soil moisture of the profile became gradually stable. Land management as well as slope had significant effects on both the change intensity of soil moisture and changes of that in different soil depth.

Keywords: Loess hilly area; soil moisture; spatial variation; grass land and shrub land