

草地植被恢复对次降雨土壤水分动态的影响分析*

张 扬^{1,2}, 赵世伟¹, 侯庆春¹

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要:通过对宁南典型草原植被恢复过程次降雨土壤水分动态的研究, 阐明植被恢复对次降雨后土壤水分的影响及机理。结果表明, 次降雨提高了土壤含水率和贮水量, 均表现出 $1\text{ d} > 3\text{ d} > 7\text{ d}$ 。草地封育能够提高次降雨资源化效率, 随封育时间延长, 次降雨后 0 - 60 cm 土壤含水率和 0 - 100 cm 土壤贮水量不断提高。降雨对封育草地土壤水分的影响范围在 100 cm 土层内, 100 cm 以下不能得到降雨的补充。封育时间延长土壤水分活跃层加深, 坡耕地仅为 40 cm, 封育 17 a 后达到 60 cm。土壤持水能力越强, 表层土壤饱和导水率越大, 雨后 1 d 在 0 - 100 cm 土壤贮水量越大。地上生物量愈大, 雨后 1~7 d 在 0 - 200 cm 土壤耗水量越大。

关键词:次降雨; 植被恢复; 入渗; 土壤水分

中图分类号: S812; S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)03-0070-04

Effects of Vegetation Restoration on Soil Water Dynamics of Individual Rainfall in Typical Steppe

ZHANG Yang^{1,2}, ZHAO Shi-wei¹, HOU Qing-chun¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: Soil water dynamics of individual rainfall during the process of vegetation restoration in typical steppe was studied in the mountain area of southern Ningxia, and elucidated the effects and mechanism of vegetation restoration. The results show the soil moisture content and soil moisture storage was enhanced by individual rainfall in different period of closing, manifested as $1\text{ d} > 3\text{ d} > 7\text{ d}$. Enclosed steppe improve resource utilization rate of individual rainfall, soil moisture in 0 - 60 cm and soil moisture storage in 0 - 100 cm increased with period of closing. There was no effects of supplementary irrigation under depth 100 cm. The enclosed time longer, the deeper water active layer was. The water active layer, which reached 0 - 60 cm after 17-year of closing, was 0 - 40 cm in slope farmland. Soil structure was the key influencing factor of the soil moisture storage in 0 - 100 cm on the first day after individual rainfall. From the first day to the seventh day after individual rainfall, the biomass was higher, the more the soil water was consumed in 0 - 200 cm.

Key words: individual rainfall; vegetation restoration; infiltration; soil water

在干旱半干旱地区, 特别是黄河中游黄土地区, 土壤水的主要来源是雨水的入渗, 而土壤水的消耗主要是蒸散, 没有或者很少有地下径流。影响降雨入渗的因素有土地利用方式^[1]、土壤性质、地形地貌、植被类型生物量^[2-3]、和降雨强度、降雨类型^[4-5]、时空分布等。植被作为重要的生态因子, 是影响土壤水分最活跃最积极的因素, 得到了学者的重视。李毅等^[6]利用人工模拟降雨试验, 得出人工草盖度

越大降雨入渗补给量越大。袁建平^[3]等利用小型野外模拟实验得出黄土丘陵小流域不同植被措施对降雨补给的影响。董三孝^[7]利用渗透筒法研究得出植被恢复能够改善土壤的入渗能力。由于野外条件限制, 上述研究均停留在人工模拟试验, 与实际相差甚远, 且对次降雨土壤水分动态和机制研究不够深入。自然条件下次降雨土壤水分动态的研究多见于移动沙丘或者沙地^[8-9], 黄土丘陵区不同植被恢复阶段土

* 收稿日期: 2009-05-06

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BCA010A07, 2006BAD09B08)

作者简介: 张扬(1984-), 女, 内蒙古通辽人, 硕士研究生, 主要从事土壤水分研究。E-mail: zhangyang06@mails.gucas.ac.cn

通信作者: 赵世伟(1962-), 男, 四川荣县人, 研究员, 主要从事植被与土壤互动关系研究。E-mail: swzhao@ms.iswc.ac.cn

壤水分的动态观测与激励分析鲜有报道。本研究通过对云雾山草地封育过程次降雨后土壤水分的动态变化研究,旨在讨论植被恢复对降雨入渗和土壤水库补给的影响,探讨植被恢复影响次降雨对土壤水库补给的机理,为黄土丘陵区土壤水库恢复提供理论依据。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

云雾山自然保护区代表我国黄土高原地区温带草原地带及以长芒草为建群种的草原生态系统。通

过 20 多年的保护,已具备典型、完整的长芒草草原生态系统特征。该区位于宁夏回族自治区固原市东北部,106°24' - 106°28' E, 36°13' - 36°19' N,海拔 1 800 ~ 2 148.4 m,总面积 4 000 hm²。属温凉半干旱黄土覆盖的低山丘陵区,年平均气温 4 ~ 6 ℃,干燥度 1.5 ~ 2.0,年降雨量 400 ~ 450 mm, 0 ~ 10 ℃积温为 2 370 ~ 2 882 ℃,年均无霜期为 112 ~ 137 d,年日照时数约为 2 500 h。地势为南低北高,阳坡平缓,阴坡较陡,地带性土壤为山地灰褐土和黑垆土,土层分布均匀深厚,地下水位深,对土壤水补充能力差。样地具体条件见表 1。

表 1 样地的基本概况

植被恢复年限/a	海拔/m	坡向/(°)	坡度/(°)	有机质含量/(g·kg ⁻¹)	盖度/%	生物量/(g·m ⁻³)	植被
坡耕地	2037	半阳坡	13.3	2.54	-	-	大燕麦
7	2083	半阳坡	13.3	11.51	0.70	231.9	赖草 - 阿尔泰狗娃花 + 猪毛蒿
17	2089	半阳坡	20.7	13.33	0.75	267.4	铁杆蒿 - 大针茅 + 乳白香青 + 阿尔泰狗娃花
25	2038	半阴坡	11.7	18.23	0.90	381.5	长芒草 - 铁杆蒿 + 大针茅 + 百里香

1.2 研究方法

降雨后在草地封育植被恢复方式的样地(坡耕地、封育 7 a、17 a、25 a)内,分别设置样方,3 个重复。分别降雨后 1 d、3 d、7 d 进行土壤水分测定,土壤含水量测定采用烘干称重法,取样深度 200 cm,0 - 100 cm 内间隔 10 cm 深度取样 1 次,100 - 200 cm 内间隔 20 cm 取样 1 次。本次降雨发生在 2008 年 9 月 28 日,降雨历时 6 h,降雨量为 20 mm,平均降雨强度为 3.33 mm/h。土壤贮水量计算公式: $E = 0.1w \cdot \rho \cdot h$,式中: E ——贮水量(mm); w ——土壤含水率(%); ρ ——土壤容重(g/cm³); h ——土层深度(cm)。

2 结果与分析

2.1 草地封育植被恢复过程降雨后土壤含水量的变化特点

次降雨提高了土壤含水率,不同植被恢复时间 0 - 60 cm 土层均表现出 1 d > 3 d > 7 d(图 1)。次降雨后坡耕地 0 - 60 cm 以上土层土壤含水率最低,0 - 60 cm 的剖面均值分别为 17.84%(1 d)、16.61%(3 d)和 15.14%(7 d)。随着封育时间的延长,次降雨转化效率不断提高。封育 7 a 次降雨后 0 - 60 cm 的剖面均值分别为 24.33%(1 d)、22.59%(3 d)和 20.45%(7 d),分别较坡耕地提高了 36.34%、36.03%、35.02%;封育 17 a、25 a 次降雨后土壤含水率接近田间持水量,25 a 土壤含水率剖面均值分别为 26.84%(1 d)、25.95%(3 d)、23.38%(7 d),分别较坡耕地提高了

50.41%、56.28%、54.32%。不同封育时间次降雨后 1 ~ 7 d,100 cm 以下土层土壤含水率变化不明显,封育 7 a 为 6% ~ 7%,坡耕地、封育 17 a 和 25 a 均在 9%左右,说明降雨对封育草地土壤水分的影响范围在 100 cm 土层内,100 cm 以下不能得到降雨的补充,降雨水分全部在 100 cm 以上土层中消耗吸收,该结果与阿拉木萨^[8]的研究结果相同。

2.2 土壤贮水量和供水能力

通过对土壤贮水量的比较能够更直观地进行土壤水变化分析。根据土壤水分垂直变化层次,分别讨论 0 - 100 cm 和 100 - 200 cm 土壤贮水量。由图 2A 可以看出,草地封育不同时间 0 - 100 cm 土壤贮水量均表现出雨后 1 d 土壤贮水量最大,随时间延长土壤贮水量下降,表现为 1 d > 3 d > 7 d。封育时间延长次降雨后土壤贮水量仍然保持较高水平,雨后 1 d 坡耕地的土壤贮水量最低,为 188.14 mm。封育 17 a、25 a 在 0 - 100 cm 土壤贮水量分别为 243.48 mm 和 240.47 mm,较坡耕地分别提高 29.42%和 27.95%。雨后 3 d 和 7 d 在 0 - 100 cm 土壤贮水量变化规律与雨后 1 d 相似,坡耕地最小,分别为 187.38 mm 和 179.01 mm;封育 17 a 最大,分别为 242.78 mm 和 222.45 mm。坡耕地地表裸露,土壤结构稳定性差,降雨对地表打击后土粒分散,径流携带的土壤颗粒会堵塞地表土壤孔隙形成地表封闭结皮,从而使降雨入渗率降低,导致降雨入渗量减少。已有研究表明,草地封育超过 5 a 土壤结构开始变化,植被根系开始加

深,增渗作用明显提高^[10],因此,封育有利于次降雨后 0 - 100 cm 土壤贮水量的提高。

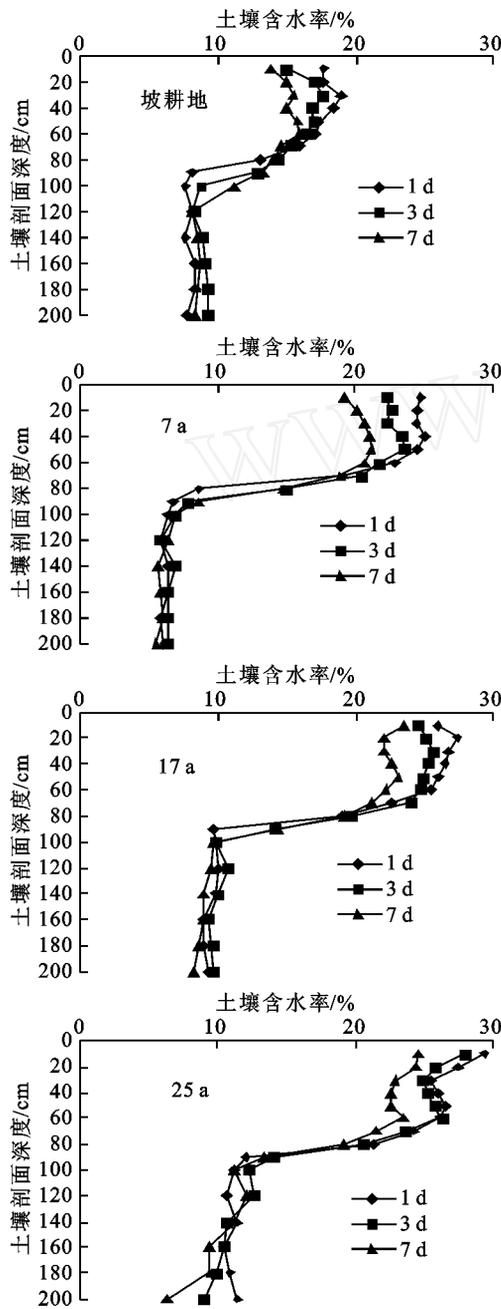


图 1 草地封育植被恢复过程降雨后土壤含水量

降雨结束后水分在土壤中再分配。一方面是土壤含水量因蒸散的作用而减小,另一方面是一部分水分由于水势差的存在继续补给下层土壤水分或发生侧渗。除封育 25 a 外,其他样地 100 - 200 cm 土壤贮水量 1 ~ 7 d 表现为先增大后减小的过程。降雨后 1 ~ 3 d 在土壤水分再分配的影响下 100 - 200 cm 土壤贮水量增加;3 ~ 7 d 该层次土壤水分略微损失。各样地雨后不同时间 100 - 200 cm 土壤贮水量 72.01 ~ 118.40 mm,远低于 0 - 100 cm 土壤贮水量。

土壤供水量与土壤水分的减少量呈正相关,因此土壤贮水量的减少量可以作为土壤供水量的判断

依据。次降雨后 1 ~ 7 d 坡耕地、封育 7 a、17 a 和 25 a 在 0 - 200 cm 土壤贮水量的减少量分别为 3.66, 19.34, 27.77, 39.78 mm,随草地封育时间延长土壤耗水量不断增加,25 a 土壤水分损失量较坡耕地增加 10 倍。

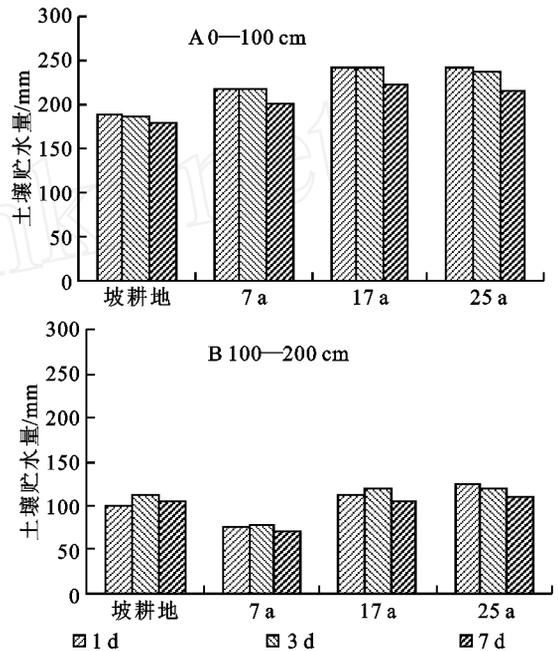


图 2 次降雨后土壤贮水量变化

2.3 土壤水分垂直变化层次划分

对于土壤水分垂直变化层次的划分,前人已做了较系统的研究。王孟本等^[11]考虑了林草的作用,根据土壤含水量标准差(S_d)判别法,将林下土壤水分分布分为活跃层($S_d > 1.5$)、次活跃层($1 < S_d < 1.5$)和相对稳定层($S_d < 1$)3 个层次。表 2 是根据标准差判别法划分的不同草地封育阶段 0 - 200 cm 土层土壤水分垂直变化。

从表 2 可以看出,草地封育不同阶段土壤水分分层类似,与地上植被生物量、盖度坡度和坡向没有明显的关系。农地土壤水分活跃层最浅,仅为 0 - 40 cm,封育 7 a 土壤水分活跃层为 0 - 50 cm,随封育时间延长水分活跃层达到 0 - 60 cm,与植物根系的分布深度^[12]相吻合,说明植被恢复时间延长,在植被根系的影响下 0 - 60 cm 土层土壤水分产生显著影响,而对 90 cm 以下土壤影响甚微。

表 2 草地封育土壤水分垂直分层

恢复时间/a	活跃层/cm	次活跃层/cm	相对稳定层/cm
坡耕地	0 - 40	-	40 - 80
7	0 - 50	50 - 80	80 - 100
17	0 - 60	60 - 90	90 - 200
25	0 - 60	60 - 90	90 - 200

2.4 土壤贮水量和耗水量的影响因子

本研究选用土壤有机碳含量 (X_1)、地上生物量 (X_2) 和表征土壤结构的 7 个因子对次降雨后 1 天 0 - 100 cm 土壤贮水量 (Y_1) 和雨后 1 ~ 7 d 在 0 - 200 cm 土壤耗水量 (Y_2) 进行分析, 其中土壤结构因子为: 毛管孔隙度 (X_3)、非毛管孔隙度 (X_4)、参数 a (X_5)、表层土壤团聚体分形维数 (X_6)、 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量 (X_7)、土壤容重 (X_8)、表层土壤饱和导水率 (X_9) 因子。探讨封育草地植被恢复中影响次降雨后土壤贮水量和耗水量的因子。

通过逐步回归, 次降雨后 1 天 0 - 100 cm 土壤贮水量是土壤持水能力和表层土壤饱和导水率的函数 (1), 土壤持水能力越强, 表层土壤饱和导水率越大, 雨后 1 天 0 - 100 cm 土壤贮水量越大。通径分析结果表明 (表 3), 土壤持水能力对雨后 1 天 0 - 100 cm 土壤贮水量的直接作用大于表层土壤饱和导水率, 有机碳含量通过土壤持水能力表现的间接作用大于直接作用。雨后 1 d 在 0 - 100 cm 的土壤贮水量主要受土壤结构性影响。

$$Y_1 = 83.004 + 8.221 X_5 + 4.484 X_9$$

$$P < 0.01 \quad R^2 = 1.0000 \quad (1)$$

$$Y_2 = -3.365 + 0.111 X_2$$

$$P < 0.01 \quad R^2 = 0.9812 \quad (2)$$

表 3 草地植被恢复方式各因素对次降雨后土壤贮水量通径分析

因子	直接作用	间接作用	
		X_4	X_9
X_4	1.0733		0.0764
X_9	0.1092	0.7508	

次降雨后 1 ~ 7 d 在 0 - 200 cm 土壤耗水量是地上生物量的函数 (式 2), 地上生物量越大, 雨后 1 ~ 7 d 在 0 - 200 cm 的土壤耗水量越大。表明降雨后土壤水分被植被所消耗, 植物蒸腾是水分平衡中最主要的输出项^[13-14]。

3 小结

次降雨提高了土壤含水率和贮水量, 均表现出 1 d > 3 d > 7 d 的规律。草地封育能够提高次降雨资源化效率, 随封育时间延长, 次降雨后 0 - 60 cm 土壤含水率和 0 - 100 cm 土壤贮水量不断提高, 0 - 60 cm 土壤含水率从 15% ~ 18% (坡耕地) 提高到 23% ~ 27% (封育 25 a), 0 - 100 cm 土壤贮水量从 180 ~ 189 mm 提高到 215 ~ 240 mm, 提高了 20.50% ~ 27.5%。不同封育时间, 100 cm 以下土层次降雨后土壤含水率变化不明显, 说明次降雨对封育草地土壤水分的影响范围在 100 cm 土层内, 100 cm 以下不能得到降雨的补充。0 - 200 cm 土壤

耗水量随草地封育时间的延长不断增加。

植被恢复影响土壤水分的垂直差异性, 随植被恢复时间延长, 土壤水分活跃层加深。农地土壤水分活跃层最浅仅为 0 - 40 cm, 封育时间延长土壤水分活跃层加深, 达到 60 cm 深度, 说明植被恢复有利于土壤水分入渗深度增加。

次降雨后, 0 - 100 cm 土壤贮水量主要受土壤结构性影响, 土壤持水能力越强, 表层土壤饱和导水率越大, 雨后 1 天 0 - 100 cm 土壤贮水量越大。雨后 1 ~ 7 d 在 0 - 200 cm 土壤水分逐步被植被利用而降低, 并受地上生物量的控制, 地上生物量愈大, 土壤水分利用量愈大。

参考文献:

- [1] 李斌兵, 郑粉莉. 黄土坡面不同土地利用下的降雨入渗模拟与数值计算[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 118-123.
- [2] 漆良华, 张旭东, 周金星, 等. 湘西北小流域典型植被恢复群落土壤贮水量与人渗特性[J]. 林业科学, 2007, 43(4): 1-8.
- [3] 袁建平, 张素丽. 黄土丘陵区小流域土壤稳定入渗速率空间变异[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 579-583.
- [4] 李毅, 邵明安. 间歇降雨和多场次降雨条件下黄土坡面土壤水分入渗特性[J]. 应用生态学报, 2008, 1(7): 1511-1516.
- [5] 张春敏, 王根绪, 王军德, 等. 高寒草甸典型小流域雨后土壤水分空间变异特征[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 10-14.
- [6] 李毅, 邵明安. 人工草地覆盖条件下降雨入渗影响因素的实验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 18-23.
- [7] 董三孝. 黄土丘陵区退耕地植被自然恢复过程及其对土壤入渗的影响[J]. 水土保持通报, 2004, 24(4): 1-5.
- [8] 阿拉木萨, 蒋德明, 裴铁璠. 科尔沁沙地人工小叶锦鸡儿植被水分入渗动态研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 56-59.
- [9] 刘新平, 张铜会, 赵哈林, 等. 流动沙丘降雨入渗和再分配过程[J]. 水利学报, 2006, 37(2): 166-171.
- [10] 陈瑶, 张科利, 罗利芳, 等. 黄土坡耕地弃耕后土壤入渗变化规律及影响因素[J]. 泥沙研究, 2005(5): 45-50.
- [11] 王孟本, 李洪建. 晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究[J]. 生态学报, 1995, 15(2): 178-184.
- [12] 李鹏, 李占斌, 澹台湛. 黄土高原退耕草地植被根系动态分布特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 849-853.
- [13] 李代琼, 姜峻. 安塞黄土丘陵区人工草地水分有效利用研究[J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 66-74.
- [14] 孙长忠, 黄宝龙. 黄土高原人工植被与其水分环境相互作用关系研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(3): 7-14.