

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.03.039.

王佳珍, 张秋芬, 彭华, 等. 不同土地利用方式下次降雨对土壤含水量深层变化的影响[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 69-75.

WANG Jiazhen, ZHANG Qiufen, PENG Hua, et al. Impact of Individual Rainfall on the Changes of Soil Water Content in Deep Layer of Different Land Uses[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(3): 69-75.

不同土地利用方式下次降雨对土壤 含水量深层变化的影响

王佳珍^{1,2}, 张秋芬², 彭华³, 吕锡芝²

(1. 郑州大学, 郑州 450001; 2. 黄河水利委员会黄河水利科学研究院

河南省黄河流域生态环境保护与修复重点实验室, 郑州 450003; 3. 四川省青神县河湖服务中心, 四川 眉山 620400)

摘要: [目的] 黄土高原地区水资源短缺, 探究不同土地利用方式下次降雨对土壤含水量变化的影响对区域水资源优化配置理论探索具有重要意义。[方法] 基于甘肃省庆阳市南小沟径流场自然降雨条件下的实测数据资料及 4 种土地利用方式(农、林、草、裸)覆盖下的降雨前后观测数据, 分析了不同土地利用方式下 5 种不同次降雨等级的土壤含水量深层变化特征。[结果] (1) 土壤含水量的动态变化与土地利用方式关系较为密切。在 4 种土地利用方式中, 林地比裸地的蓄水能力好, 但裸地的土壤含水量在不同等级降雨影响下的波动最大。随着土层深度的增加, 表层土壤含水量对降雨的响应比较明显, 中间层和深层具有一定的滞后性。(2) 特定降雨条件下, 土壤不同深度的水分交换存在明显的水分活跃层分界点。大雨和暴雨条件下, 在 40 cm 土层深度处出现明显的水分活跃层分界点; 中雨条件下, 除了农地雨后含水量差异较大之外, 其他土地利用方式下, 从 60 cm 处开始土壤含水量出现明显的水分活跃层分界点。(3) 不同土地利用方式下降雨特征因子与表层土壤含水量的关联性都最小, 与中间层和深层土壤含水量的关联性都较高; 4 种土地利用方式中相对于裸地, 林地、草地和农地对土壤水分的调控作用较大。[结论] 不同土地利用方式下土壤入渗对降雨响应的差异性与地表植被覆盖及地下植被根系分布密不可分, 对土壤含水量变化的灰色关联分析为黄土高原水土保持研究提供理论依据。

关键词: 黄土高原; 土地利用方式; 降雨等级; 土壤含水量

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)03-0069-07

Impact of Individual Rainfall on the Changes of Soil Water Content in Deep Layer of Different Land Uses

WANG Jiazhen^{1,2}, ZHANG Qiufen², PENG Hua³, LYU Xizhi²

(1. Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Yellow River Conservancy Research Institute, Yellow River Conservancy Commission, Henan Key Laboratory of Ecological Environmental Protection and Restoration of the Yellow River Basin, Zhengzhou 450003, China; 3. Sichuan Qingshen County River and Lake Service Center, Meishan, Sichuan 620400, China)

Abstract: [Objective] Water resources are shortage in the Loess Plateau. Exploring the impact of the individual rainfall on the change of soil water content in different land uses is of great significance to the theoretical exploration of the optimal allocation of regional water resources. [Methods] Based on the measured data of natural rainfall in runoff field of Nanxiaohogou in Qingyang, Gansu Province, and the observed data before and after rainfall under four land use patterns (agriculture, forest, grass and bare), the characteristics of soil water content changes in five different rainfall levels under different land use patterns were analyzed.

收稿日期: 2022-03-08

修回日期: 2022-04-02

资助项目: 国家重点研发计划项目“区域水土资源联合配置及其风险应对”(2017YFA0605004); 国家自然科学基金项目“黄土丘陵区不同尺度植被对水文过程的调控机制研究”(51979118); 中国博士后基金特别资助项目“黄土高原典型流域水循环过程响应机制与适应性调控”(2020T130235)

第一作者: 王佳珍(1998—), 女, 河南正阳人, 硕士研究生, 主要开展生态水文机理方面的研究。E-mail: 15638384660@163.com

通信作者: 吕锡芝(1986—)男, 山东惠民人, 正高级工程师, 博士, 主要从事水土保持、生态水文方面的研究。E-mail: nihulvxi@163.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

[Results] (1) The dynamic change of soil water content is closely related to land use pattern. Among the four land use patterns, forest land has better water storage capacity than bare land, but the soil water content in bare land fluctuates the most under different rainfall levels. With the increase of soil depth, the response of surface soil moisture to rainfall is obvious, and there is a certain lag between the middle layer and the deep layer. (2) Under specific rainfall conditions, the water exchange at different depths of soil has obvious demarcation point of water active layer. Under heavy rain and rainstorm conditions, there is an obvious demarcation point of water active layer at 40 cm depth. Under moderate rain conditions, except for the significant difference in soil water content after rain, under other land uses, soil water content appears obvious demarcation point of water active layer from 60 cm. (3) Under different land use patterns, rainfall characteristic factors had the lowest correlation with surface soil water content, but had the highest correlation with middle and deep soil water content. Compared with bare land, forestland, grassland and agricultural land have the greater regulation effects on soil water. [Conclusion] The difference of soil infiltration response to rainfall under different land use patterns is closely related to the distribution of surface vegetation cover and underground vegetation root system. The gray correlation analysis of soil moisture changes provides the theoretical basis for the study of soil and water conservation in the Loess Plateau.

Keywords: Loess Plateau; vegetation type; rainfall grade; soil water content

土壤水是指土壤表层到地下水潜水面以上壤中流动或积蓄的水分,自然降水或人为灌溉均要先通过入渗转化成土壤水分才能被植物根系吸收利用^[1]。土壤水作为植物生长和生存的物质基础^[2],是土壤的重要组成,是影响土壤肥力和自净能力的主要因素之一^[3],土地利用方式的改变主要通过植被影响地面覆盖度变化来影响土壤性质,进而影响土壤内水分的迁移。因此研究降雨条件下不同植被类型土壤含水量的变化对探究土壤内部机理具有重要意义。而黄土高原作为中国四大高原之一,也是我国乃至世界水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区。黄土丘陵区大量的坡耕地是粮食生产的有力保障,也是水土流失的主要驱动力,因此对黄土高原地区的降雨过程及土壤水进行研究意义重大。

近年来关于此类问题,国内外众多学者取得了一系列重要的结论。薛雪^[4]研究了南京城郊不同林分土壤水分时空变异的规律及对降雨的响应,认为土壤水分动态变化与土地利用方式密切相关,引起土壤水分的时空异质性。赵思远等^[5]探究了黄土塬不同土地利用方式土壤水分对降雨的响应,认为不同土地利用方式下土壤入渗对降雨响应的差异与植被根系分布密不可分。周壮壮等^[6]通过分析不同植被覆盖度下土壤含水量对降雨的分级响应,发现同一降水条件下,植被覆盖情况不同,对应的土壤水分也有很大差异,且启动土壤含水量响应过程存在降水量阈值。张敏等^[7]探究了黄土丘陵缓坡风沙区不同土地利用类型土壤含水量的季节变化规律和垂直分布特征,发现

土壤含水量具有明显的垂直分布特征,为黄土高原地区土壤水分管理及水土资源的合理开发利用提供理论依据。罗叙等^[8]系统的对降雨变化对荒漠草原土壤水分滞留规律进行了研究,发现不同土层土壤含水量对降雨变化的响应不同,降雨量与土壤水分呈现出正相关关系。目前学者在降雨对土壤含水量变化的影响方面主要倾向于宏观现象的研究,对机理的研究较少,且比较倾向于室内人工模拟,较少对自然降雨状态下的土壤含水量变化进行研究。

本研究选取黄土高原具有代表性的 4 种土地利用方式(农地、林地、草地和裸地)下的土壤含水量作为研究对象,揭示不同次降雨等级下南小河沟不同土地利用方式的土壤含水量变化,分析土壤含水量的垂直变化规律及其与降雨特征及土层深度的关联度,进一步了解黄土高原土壤水分与降水间的响应机理,对地区的生态环境改善及水资源优化配置起到理论支撑作用。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究试验在甘肃省庆阳市西峰区境内的南小河沟径流场开展。南小河沟是黄河水利委员会西峰水保站 1951 年建立的全面科学治理黄土高原水土流失的试验区域,位于世界上最大的黄土塬—董志塬腹地的西边缘,是黄河三级支流浦河下游左岸的一级支流,地理位置位于东经 $107^{\circ}30'$ — $107^{\circ}37'$,北纬 $35^{\circ}41'$ — $35^{\circ}44'$;属于暖温带大陆性季风气候,冬春干旱少雨,夏秋降雨比较集中,年降雨量 504.1 mm,年

均气温 9℃,为典型的黄土高原沟壑区,流域面积 38.93 km²。土壤为黄土,坡地类型主要以农地、林地、草地和裸地为主。南小河沟长期开展坡面水土流失和土壤入渗等科学试验,有丰富的数据积累,在当下依然具有深厚的挖掘价值。

1.2 数据来源

为研究黄土高原地区不同土地利用方式对土壤入渗的影响,本研究选取了南小河沟农地、林地、草地以及裸地 4 种土地利用方式的小区为研究对象,以自然降雨条件下小区内的土壤含水量观测试验数据作为主要数据来源,选取了不同土地利用方式下降雨前后观测完整的 5 场典型次降雨事件进行分析,揭示不同等级降水前后各个土地利用方式的土壤含水量变化情况。试验场内径流小区按照水利部《水土保持试验规程》的标准进行布设,长 20 m,宽 5 m,面积约 100 m²。土壤样品采集均在同一水平线上,为了避免小区间土壤水分发生水平交换,小区之间设置了间隔为 1 m 的隔离带。数据的分析处理计算主要采用 Excel 和 SPSS 22.0。

1.3 灰色关联度分析

灰色关联法是依照要素间相似或相异程度,也就是灰色关联度来比较要素之间关联大小的一种方法^[9]。在系统发展过程中,若两个因素变化的趋势具有一致性,即同步变化程度较高,则可以称二者关联程度较高;反之则较低^[10]。

2 结果与分析

2.1 研究区降雨特征

根据我国国家气象部门对降雨等级的分类标准^[11],主要根据降雨强度来划分降雨类型,如表 1 所示。

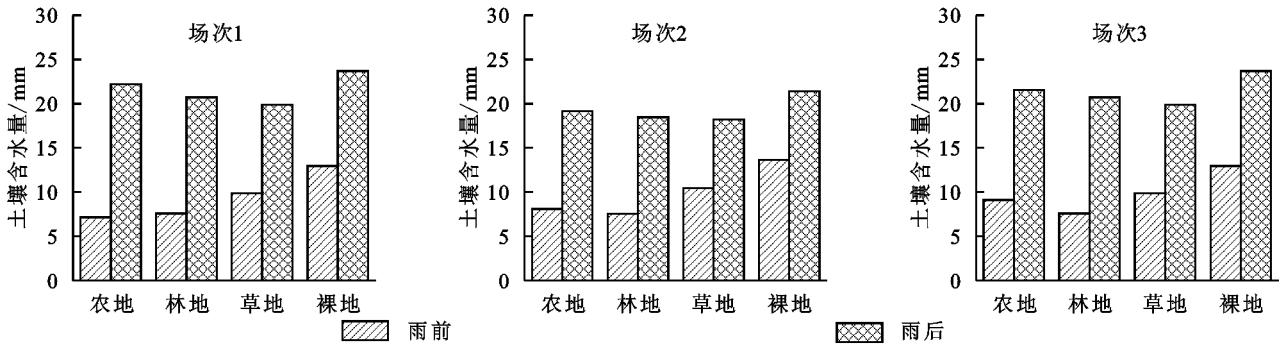


图 1 3 场不同等级的降雨前后土壤含水量

2.3 降雨前后不同土地利用方式下的土壤含水量垂直分布变化

对降雨前后土壤水分的垂直分布进行研究,以土壤含水量为横坐标,土层深度为纵坐标,得到不同土

表 1 降雨类型划分

| 降雨等级 | 降雨强度分级 | 12 h 降雨量/mm | 24 h 降雨量/mm |
|------|--------|-------------|-------------|
| I | 小雨 | 0.2~5 | <10 |
| II | 中雨 | 5~15 | 10~25 |
| III | 大雨 | 15~30 | 25~50 |
| IV | 暴雨 | 30~70 | 50~100 |
| V | 大暴雨 | 70~100 | 100~200 |
| VI | 特大暴雨 | >100 | >200 |

由于本研究的降水数据均为人工测量,小雨的降雨数据相对较少,因此根据降雨特征将此次研究的降雨等级分为中雨、大雨、暴雨、大暴雨以及特大暴雨(表 2),并对单次降雨尺度的土壤水分特征进行分析。

表 2 不同场次降雨特征

| 降雨场次 | 降雨时长/h | 降雨量/mm | 平均降雨强度/(mm·min ⁻¹) | 降雨类型 |
|------|--------|--------|--------------------------------|------|
| 1 | 25.37 | 23.2 | 1.5 | 中雨 |
| 2 | 14.08 | 18.9 | 1.4 | 大雨 |
| 3 | 55.87 | 139.5 | 3.8 | 暴雨 |
| 4 | 4.95 | 39.6 | 8.0 | 大暴雨 |
| 5 | 5.62 | 43.7 | 17.8 | 特大暴雨 |

2.2 降雨前后不同土地利用方式下的土壤含水量变化特征

选取研究期间的 3 场不同等级的降雨过程,对降雨前后不同土地利用方式的平均土壤含水量进行分析(图 1)。总体来说,不同土地利用方式下降雨前后土壤含水量变化趋势一致,雨后各个土地利用方式的土壤含水量都有明显增加。雨前农地、林地、草地的土壤含水量差异不大,裸地的土壤含水量最高;雨后农地、林地、草地的土壤含水量显著增大,而裸地的土壤含水量数值增幅则较小。

地利用方式下的土壤含水量在中雨、大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨条件下的垂直分布变化。

2.3.1 中雨条件下土壤含水量的垂直分布变化 以场次 1 作为中雨的代表性降雨场次,累计降雨量为

23.2 mm,土壤含水量的垂直分布变化结果见图2。中雨条件下,4种不同的土地利用方式各个土层的土壤含水量均对降雨有响应。降雨前后土壤含水量垂直分布趋势相近,随着土层不断下降,土壤含水量呈现减小的趋势。降雨前期,0—20 cm 土壤含水量最大,60—80 cm 土层土壤含水量减小,而在80—100 cm 土层深度土壤含水量有所增加。降雨后期,4种土地利用方式中,草地、裸地雨前和雨后的土壤含水量变化幅度比较大;农地和林地的土壤含水量变化幅度比较缓慢。对比发现,中雨条件下,农地雨后含水量差异较大,其他土地利用方式降雨前后土壤含水量垂直分布差异不大,受降雨的影响比较小;此外,除农地外,60 cm 土壤层以下,不同土地利用方式土壤含水量在降雨前后变化不大,可以认为在中雨条件下,土壤在60 cm 土层处出现水分活跃分界点。

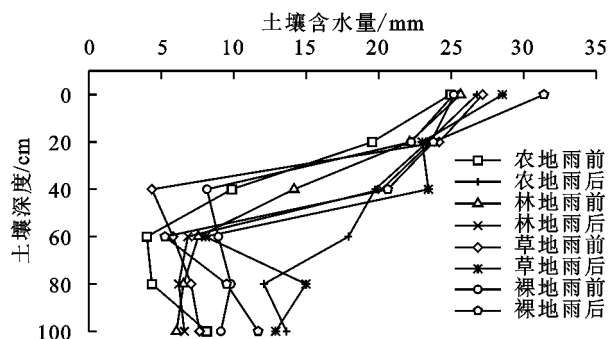


图2 场次1降雨前后土壤含水量垂直分布变化

2.3.2 大雨条件下土壤含水量的垂直分布变化 以场次2作为大雨的代表性降雨场次,累计降雨量为18.9 mm,土壤含水量的垂直分布变化结果见图3。可以发现降雨前后土壤含水量随土层深度加深均呈现降低趋势,其中,0—20 cm 土层深度土壤初始含水量最大,降雨前后变化也最大。降雨前,农地初始土壤含水量最小,其他3种土地利用方式的土壤含水量接近;降雨后,农地和林地表层土壤含水量接近,草地和裸地较为接近;在最深处取样点测得4种土地利用方式的土壤含水量大小具体表现为裸地>农地>林地>草地。总体来说,在大雨条件下,4种不同土地利用方式垂直方向上的各土层的土壤含水量均对降雨产生响应,其中受到降雨影响最明显的是草地和裸地,其次是农地和林地。此外,从图中可以看出4种土地利用方式的雨前雨后土壤含水量垂直变化曲线在40 cm 土层深度出现明显交叉,其中,40 cm 以上土层土壤含水量在降雨前后变化较活跃,40 cm 以下土层的土壤含水量在降雨前后的变化较小,可以认为在大雨条件下,土壤在40 cm 土层处出现水分活跃分界点。

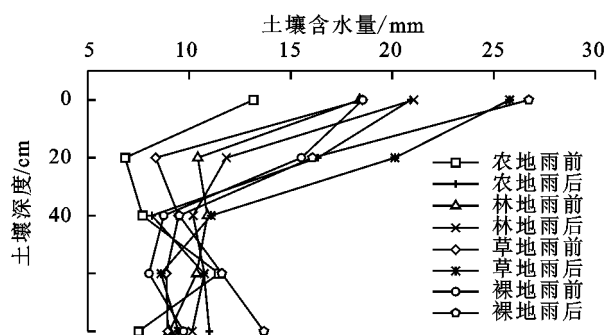


图3 场次2降雨前后土壤含水量垂直分布变化

2.3.3 暴雨条件下土壤含水量的垂直分布变化 以场次3作为暴雨的代表性降雨场次,累计降雨量为139.5 mm,土壤含水量的垂直分布变化结果见图4。可以发现,雨前4种土地利用方式的土壤含水量在土壤表层表现为草地>裸地>林地>农地,随着降雨事件的发生,农地的土壤含水量在垂直方向有了明显上升,在降雨结束后,表层土壤含水量大小表现为草地>农地>裸地>林地。对比发现,在暴雨条件下,研究选取的4种土地利用方式的土壤含水量都对降雨在垂直方向上产生响应,其中裸地土壤含水量在降雨前后的变化幅度最大,表现为雨后土壤含水量较雨前发生了明显的增长,总体来说4种土地利用方式的土壤含水量变化趋势相似,随着土层深度的增加,土壤含水量呈现下降的趋势。除此之外,4种土地利用方式的雨前雨后土壤含水量变化曲线在40 cm 土层深度产生较为明显交叉,可以初步认定在暴雨条件下,土壤在40 cm 土层处出现水分活跃层分界点。

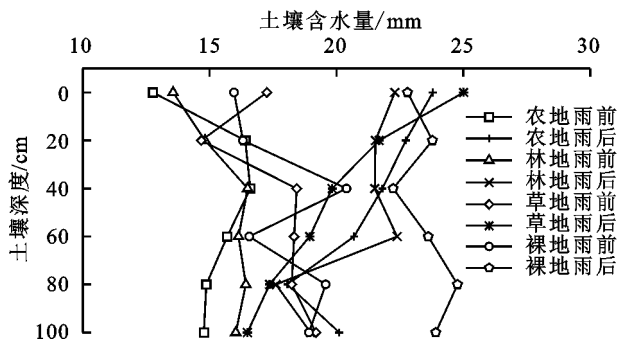


图4 场次3降雨前后土壤含水量垂直分布变化

2.3.4 大暴雨条件下土壤含水量的垂直分布变化 以场次4作为大暴雨的代表性降雨场次,累计降雨量为39.6 mm,土壤含水量的垂直分布变化结果见图5。降雨前4种土地利用方式的表层土壤含水量大小表现为农地最小,草地次之,林地和裸地的土壤含水量最大且较为接近;降雨前后各个土地利用方式的表层土壤含水量与雨前特征相似,裸地的土壤含水量在垂直方向最大,林地次之。大暴雨条件下,4种土地利用方式土壤含水量都对降雨产生响应,其中林地的

土壤含水量降雨前后变动最大,表现为雨后的土壤含水量明显增加,0—60 cm 土层含水量均有增加,在 60 cm 处土壤含水量基本达到最大,随着土壤垂向深度加深,土壤含水量呈现逐渐下降的趋势。此外,与其他土地利用方式相比,农地的土壤含水量一直较高,大暴雨时对农地的影响较小,土壤含水量在垂直方向分布差异较小。

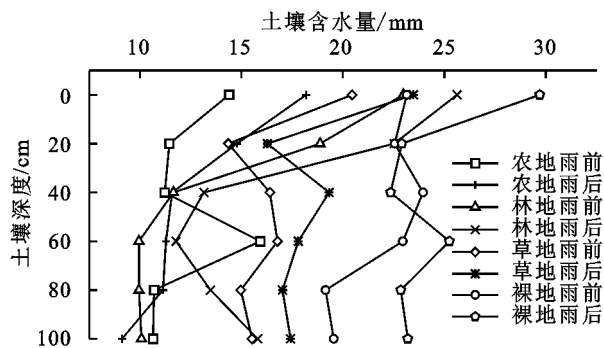


图 5 场次 4 降雨前后土壤含水量垂直分布变化

2.3.5 特大暴雨条件下土壤含水量的垂直分布变化
以场次 5 作为特大暴雨的代表性降雨场次,累计降雨量为 43.7 mm,土壤含水量的垂直分布变化结果见图 6。初始土壤含水量表现为裸地>林地>农地>草地,表层土壤含水量对降雨的响应较为及时,没有发生滞后现象。由于特大暴雨条件下降雨强度和降雨量大,4 种土地利用方式土壤含水量受降雨的影响波动都比较大,随着垂直方向土层深度的加深,土壤含水量呈现先降低后增加的趋势,不同土地利用方式降雨前后各个土层的土壤含水量基本一致。受强降雨影响,土壤含水量波动较大的为裸地,具体表现为:0—20 cm 土层深度土壤含水量明显降低,20—60 cm 土层深度含水量又出现了一定程度的回升,但总体呈下降趋势,反映较为强烈。

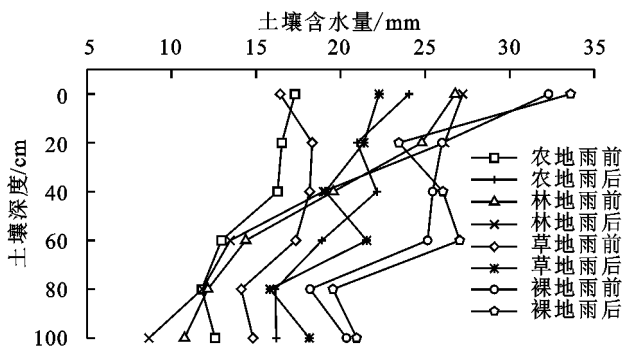


图 6 场次 5 降雨前后土壤含水量垂直分布变化

2.4 土壤含水量变化的灰色关联分析

选取黄土高原具有代表性的土地利用方式为研究对象,根据不同场次降雨不同土层的含水量将土层划分为 3 层:0—40 cm 土层为表层土壤,在这一层土

壤中土壤水分含量会随着降雨等级的不同而产生很大变化;40—80 cm 为中间层土壤,与表层土壤相比较来说,中间层的水分含量相对比较稳定,土壤含水量的变化相对缓慢;80—100 cm 为深层土壤,土壤含水量变化缓慢。

2.4.1 不同降雨特征因子与土壤含水量的灰色关联分析
对不同降雨特征下土壤含水量的灰色关联度进行分析时,可将 3 种降雨特征分别设置成参考数列,将表层、中间层和深层土壤设置为比较数列,分别记为 R_{01} , R_{02} 和 R_{03} 。通过多场次降雨数据分析 4 种不同的土地利用方式下的土壤含水量与降雨量、平均降雨强度以及降雨历时的相关性。

从表 3 可以看出,对于 3 种降雨特征因子,农地和裸地的灰色关联度呈现出相似的规律,都表现为降雨量与表层土壤含水量灰色关联度最小,与中间层土壤含水量灰色关联度最大,这说明农地和裸地土壤渗透作用较好,降雨作用于表层土壤之后水分会快速补给到中间层土壤;相比之下,林地和草地降雨量与土层含水量在不同土层上的关联程度略有不同,其中,降雨量与表层土壤含水量的灰色关联程度最小,与深层土壤含水量的灰色关联度最大,中间层次之,这说明降水过程直接补给到深层土壤的水分较多,表层土壤的水分大多都用来补给中间层和深层的土壤。在不同的土地利用方式下,都表现为降雨特征与表层土壤含水量的相似性最小,与其他两个土层的含水量相似性较高,从横向比较来看,林地的关联程度最好,农地和草地次之,裸地最差,这说明不同的土地利用方式对降雨的响应存在差异,相对于裸地来说林地和草地对土壤水分的调控作用比较大。

表 3 不同降雨特征因子土壤含水量的灰色关联度分析

| 降雨特征因子 | 灰色关联度 | 农地 | 林地 | 草地 | 裸地 |
|--------|----------|--------|--------|--------|--------|
| 降雨量 | R_{01} | 0.4005 | 0.4642 | 0.4697 | 0.5048 |
| | R_{02} | 0.4211 | 0.4829 | 0.4761 | 0.5313 |
| | R_{03} | 0.4093 | 0.4837 | 0.4792 | 0.5193 |
| 平均降雨强度 | R_{01} | 0.5838 | 0.5311 | 0.3805 | 0.2827 |
| | R_{02} | 0.6007 | 0.5459 | 0.3867 | 0.3003 |
| | R_{03} | 0.5917 | 0.5467 | 0.3897 | 0.2922 |
| 降雨历时 | R_{01} | 0.4078 | 0.4355 | 0.4185 | 0.5456 |
| | R_{02} | 0.4309 | 0.4546 | 0.4251 | 0.5717 |
| | R_{03} | 0.4175 | 0.4553 | 0.4282 | 0.5600 |

2.4.2 不同土层深度土壤含水量灰色关联分析
对不同土层深度土壤含水量的灰色关联度进行分析时,可将表层土壤设置成参考数列,将中间层和深层土壤设置为比较数列,分别记为 R_{12} , R_{13} ;以及设置中

间层为参考数列,将深层设置为比较数列 R_{23} 的灰色关联度。

由表4可以看出,农地、林地和裸地的灰色关联度呈现出相似的规律,都表现为表层土壤含水量和中间层土壤含水量的灰色关联性最小,表层与深层土壤含水量的关联性小于中间层与深层含水量的关联性,这说明农地、林地和裸地的表层土壤直接补给到深层土壤的水分较少,深层土壤主要接受中间层土壤水分的直接补给。草地的表层与深层土壤含水量的灰色关联性最大,表层与中间层土壤含水量的关联性相比之下较小,中间层与深层土壤含水量的关联性最小,表明草地的表层土壤对深层土壤水分的直接补给作用最大,中间层土壤中的水分大多数都是来源于表层土壤的补给,降雨作用对土壤水分的补充可以直接作用到中层土壤,只有很小一部分可以从中间层土壤补给到深层。从土地利用方式来看,草地的土层深度与土壤含水量之间的关联程度最好,林地较差,这说明草地相比较于林地来说对土壤水分的调控作用大。

表4 不同土层深度土壤含水量灰色关联度分析

| 灰色关联度 | 农地 | 林地 | 草地 | 裸地 |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| R_{12} | 0.6836 | 0.5504 | 0.7250 | 0.5279 |
| R_{13} | 0.6917 | 0.7416 | 0.7397 | 0.6538 |
| R_{23} | 0.7722 | 0.9226 | 0.6293 | 0.7505 |

3 讨论

本研究以不同次降雨等级为研究对象,探究了4种不同土地利用方式下各个土层土壤含水量的垂直变化特征,并对不同土层的土壤含水量与降雨量、平均降雨强度、降雨历时等降雨特征进行灰色关联度分析,结果表明在不同降雨等级下,4种土地利用方式下土壤水分均对降雨产生响应,其中裸地土壤水分对降雨的响应最为强烈。不同土地利用方式下土壤入渗对降雨响应的差异性与地表植被覆盖及地下植被根系分布密不可分,一方面,植物根系可以改变土壤理化性质^[12],增加土壤孔隙度和透水性;另一方面,根系的发育大大增加了土层中的连续性开放通道,促进“优先流”的形成^[13]。就土层深度这一方面来说,4种土地利用方式在不同次降雨等级的作用下变化趋势大致接近,具体表现为土壤表层土壤含水量在降雨初期增长迅速,在达到峰值后又逐渐降低,且土壤含水量的变化与降雨特征的相关性较强,随着土层深度的增加,土壤含水量对降雨的响应越差。这与李海防^[14]、余榕^[15]、李亚欣^[16]等的研究结果基本一致。除此之外,随着雨强的增大,雨滴动能在不断增加,而

雨滴动能是造成土壤表面结皮的重要影响因素,雨强增加使土壤结皮发育更加成熟,导致下渗率减小^[1]。因此,不同降雨特征下不同土层深度的土壤含水量变化规律和不同土层的水分补给过程也不同。可因地制宜地制定植被恢复和管理计划^[17]。

由于黄土高原气候干燥、土层深厚、地下水又埋藏较深,土壤水分主要是依靠降水来补给的^[18],降水对土壤水的补给改善了下垫面水分状况,促进植物生长,提高植被覆盖度^[19],进而调节生态系统的结构和功能^[20]。由于降水量、降水强度、降水历时共同影响了降水的空间分布格局^[21],因此不同土层深度的土壤含水量也主要与降雨量、平均降雨强度、降雨历时等降雨特征因子有关^[22]。此外,通过比较不同土层土壤含水量的灰色关联度,发现不同土层土壤水分的变化相似性不同,这与杜康^[9]、陈林^[23]等的研究结果基本一致。

此外,本研究在大雨条件和暴雨条件下,不同土地利用方式土壤分别在40 cm和60 cm土层处大致出现水分活跃层分界点,而其他降雨条件下,土壤水分活跃层分界不明显,说明降雨特征对土壤水分入渗深度会有影响,但天然降雨条件下,环境因子影响复杂,尚无法明确揭示降雨对土壤水分活跃层分布的影响机制,本研究还是具有一定的局限性。未来还需要通过模拟降雨试验,深入探讨不同降雨条件下可能的土壤水分活跃层分布及其对降雨等外部因素的响应机制。

4 结论

对南小河沟径流场自然降雨条件下4种土地利用方式在不同土层深度的土壤含水量进行研究,得到如下结果:

(1) 土壤含水量的动态变化与土地利用方式关系较为密切。在4种土地利用方式中,林地比裸地的蓄水能力好,但裸地的土壤含水量在不同等级降雨影响下的波动最大。随着土层深度的增加,表层土壤含水量对降雨的响应比较明显,中间层和深层具有一定的滞后性。

(2) 特定降雨条件下,土壤不同深度的水分交换存在明显的水分活跃层分界点。其中,大雨和暴雨条件下,在40 cm土层深度处出现明显的水分活跃层分界点;中雨条件下,除了农地雨后含水量差异较大之外,其他土地利用方式下,从60 cm处开始,土壤含水量都变化幅度不大,出现明显的水分活跃层分界点。

(3) 不同的土地利用方式下降雨特征因子与表层土壤含水量的关联性都最小,与中间层和深层土壤含水量的关联性都较高;不同土地利用方式下,林地降雨特征因子与土壤含水量的关联程度总体较好,农地和草地次之,裸地最差,这说明相对于裸地,林地、草地和农地对土壤水分的调控作用较大。

参考文献:

- [1] 葛波,杜妍,常猛,等.不同降雨等级下杉木林土壤含水率及侧向流变化特征[J].水土保持研究,2019,26(2):161-166.
- [2] 缪雄谊,郝玉培,林永生.一种多层土壤水同步取样装置[P].CN214200778U,2021.
- [3] 蔡旭艳,陆芳华,沈杰.一种土壤下渗水收集装置[P].CN213336940U,2021.
- [4] 薛雪.南京城郊不同林分土壤水分时空变异规律及对降雨的响应研究[D].南京:南京林业大学,2017.
- [5] 赵思远,贾仰文,牛存稳,等.黄土塬区不同土地利用方式土壤水分对降雨的响应研究[J].中国农村水利水电,2022(3):174-182.
- [6] 周壮壮,任宗萍,李鹏,等.不同植被覆盖下土壤含水量对降水的分级响应[J].中国水土保持科学,2020,18(6):62-71.
- [7] 张敏,刘爽,刘勇,等.黄土丘陵缓坡风沙区不同土地利用类型土壤水分变化特征[J].水土保持学报,2019,33(3):115-120,128.
- [8] 罗叙,李建平,张翼,等.荒漠草原土壤水分时空变化对降水变化的响应[J].水土保持研究,2021,28(4):142-150,158.
- [9] 杜康,张北赢.黄土丘陵区不同土地利用方式土壤水分变化特征[J].水土保持研究,2020,27(6):72-76.
- [10] 张亮.农村电网投资效益综合评估[D].郑州:郑州大学,2009.
- [11] 同霄,彭建兵,朱兴华,等.黄土地区降雨的优势入渗深度[J].水土保持通报,2017,37(3):231-236.
- [12] 甘春娟,郑爽,陈焱,等.氮素在雨水生物滞留系统多介质中的归趋与迁移特性[J].山东农业科学,2019,51(10):71-77.
- [13] Kan X, Cheng J, Hu X, et al. Effects of grass and forests and the infiltration amount on preferential flow in karst regions of China[J]. Water, 2019,11(8):1634.
- [14] 李海防,史梅容,王金叶,等.广西猫儿山毛竹林不同层次土壤含水量的降雨响应[J].水土保持研究,2016,23(5):120-123,128.
- [15] 余榕,刘子琦,李渊,等.典型石漠化区不同植被土壤水分对降雨的响应[J].森林与环境学报,2021,41(5):478-486.
- [16] 李亚新,陈伟,孙从建,等.黄土丘陵区农耕地与撂荒地土壤水分特征及对降雨的响应分析[J].干旱区资源与环境,2021,35(12):114-120.
- [17] 周学雅,杨婷婷,王安志,等.科尔沁沙地沙丘—丘间低地降雨前后土壤水分分布特征[J].生态学杂志,2017,36(1):157-163.
- [18] Chen L, Messing I, Zhang S, et al. Land use evaluation and scenario analysis towards sustainable planning on the Loess Plateau in China: Case study in a small catchment[J]. Catena, 2003,54(1/2):303-316.
- [19] 朱雅娟,吴波,卢琦.干旱区对降水变化响应的研究进展[J].林业科学研究,2012,25(1):100-106.
- [20] 陈敏玲,张兵伟,任婷婷,等.内蒙古半干旱草原土壤水分对降水格局变化的响应[J].植物生态学报,2016,40(7):658-668.
- [21] 陈娟.荒漠草原土壤水分对降水的响应[D].银川:宁夏大学,2019.
- [22] 李萍,李同录,付昱凯,等.非饱和黄土中降雨入渗规律的现场监测研究[J].中南大学学报:自然科学版,2014,45(10):3551-3560.
- [23] 陈林,王磊,张庆霞,等.风沙区不同土地利用类型的土壤水分灰色关联分析[J].干旱区研究,2009,26(6):840-845.