

碎石含量和盖度对黄土高原农田土壤水分的影响

赵 梅¹, 汪羽宁², 刘和平³

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 广西农业科学院 农业资源与环境研究所, 广西 南宁 530007; 3. 辽宁省水文水资源勘测局, 辽宁 沈阳 110003)

摘要: 根据自然界中碎石存在的 2 种形式, 布设碎石覆盖和土石混合 2 个试验, 利用中子仪定期监测土壤水分变化, 研究碎石对黄土高原农田土壤水分的影响, 以为黄土高原地区农业灌溉提供参考依据。结果表明, 碎石覆盖及无碎石覆盖处理土壤含水量均随土层深度的增加呈先增加再缓慢减少的趋势, 但碎石覆盖处理土壤含水量减小幅度明显低于无碎石覆盖处理, 且随着碎石覆盖量的增加土壤含水量减小幅度变小; 土石混合处理土壤含水量呈波浪式增加趋势, 尤其是碎石含量高的处理, 而无碎石混合处理呈平缓增加趋势, 且其土壤含水量明显低于土石混合处理。总之, 碎石覆盖和碎石镶嵌在土壤中均可以提高土壤含水量, 其中碎石覆盖于地表可以有效抑制表层土壤水分蒸发, 增加水分入渗深度; 碎石镶嵌在土壤中可以改变土壤物理性质, 增加土壤入渗率和大孔隙数量, 且碎石含量越高, 其对土壤物理性质的影响程度越大。

关键词: 黄土高原; 碎石覆盖; 土石混合; 土壤水分

中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2013)12-0059-05

Effect of Rock Fragment Coverage and Content on Soil Moisture of Farmland in Loess Plateau

ZHAO Mei¹, WANG Yu-ning², LIU He-ping³

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. Agricultural Resource and Environment Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 3. Hydrology and Water Resources Bureau of Liaoning Province, Shenyang 110003, China)

Abstract: To study the effect of rock fragment on the change of farmland soil moisture in the Loess Plateau, this paper designed two existence forms of rock fragment, rock fragment coverage and soil-rock fragment mixture, according the existence forms of rock fragment in nature, and monitored the variation of soil moisture periodically. The results showed that both the rock fragment coverage and no rock fragment coverage made the soil moisture increased first and then decreased slowly with the increase of soil depth. But the soil moisture content of rock fragment coverage treatment decreased significantly lower than no rock fragment coverage treatment, and it decreased less slowly with the increase of rock fragment coverage. The soil-rock fragment mixture made a wave increase of the soil moisture in particular the high rock fragment content treatment, but the soil moisture of no rock fragment mixed treatment increased gently and slowly. In short, rock fragment coverage can effectively inhibit the surface soil moisture evaporation, and increase the infiltrative depths, while rock fragment stone inlaid in the soil can change the physical properties of soil, and increase the infiltration rate and number of macropore, soil water content in soil, especially the high rock fragment content treatment.

Key words: Loess Plateau; rock fragment coverage; soil-rock fragment mixture; soil moisture

收稿日期: 2013-06-03

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB106803); 国家自然科学基金项目(40801111)

作者简介: 赵 梅(1984-), 女, 陕西咸阳人, 在读博士研究生, 研究方向: 水土保持与荒漠化治理。

E-mail: zhaomeibnu@gmail.com

黄土高原是世界上最大的黄土沉积区,位于我国中部偏北。由于缺乏植被保护,加以夏雨集中且多暴雨,在长期流水侵蚀下地面被分割得非常破碎。由于成土原因和人类活动的影响,碎石($2\text{ mm}<\text{粒径}<76\text{ mm}$,美国土壤分类系统)镶嵌在土壤中或覆盖于地表现象非常普遍^[1-4],对农业生产特别是灌溉带来诸多困难。碎石镶嵌在土壤中,能够改变土壤结构和土壤物理性质^[5]。有研究表明,土壤容重会因碎石的存在而降低,且随碎石盖度的增加而减少^[6]。同时,土壤中的碎石能够减少水流过水断面^[2,7],增加水流弯曲度,限制水分入渗和植物对水分的有效吸收;另一方面,碎石能增加土壤的大孔隙流通道,促进土壤水分入渗和水分再分布^[2,8-10]。除此之外,土壤中的碎石还能抑制土壤水分蒸发、增加土壤辐射强度、影响水量平衡以及改变土壤的上边界条件,进而减弱雨滴对土壤的打击能力^[3-4,11-13]。这说明碎石对土壤水文过程的影响重大^[5]。关于碎石对农田土壤水分动态变化影响的研究,在黄土高原地区鲜有报道。为此,本研究对黄土高原地区含碎石农田土壤水分进行定期监测,研究碎石对土壤水分的影响,对指导当地农业灌溉以及改善生态环境均具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验在中国科学院水利部水土保持研究所野外试验站进行,该站位于陕西省神木县以西 14 km 处的西沟乡六道沟流域。六道沟小流域是黄土高原水蚀风蚀交错带的强烈侵蚀中心,主沟道呈南北方向,长约 4 km ,面积约 7 km^2 ^[5]。流域内沙尘暴、旱涝灾害频繁,气候变化剧烈,年均气温 $8.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 408.5 mm ^[1,11,14]。该区主要土壤类型为黄绵土和风沙土^[15]。流域内砾石主要是钙的结核(俗称料礓石),是土壤中的碳酸钙随水分向下迁移,并通过淋溶作用形成的^[5]。料礓石主要存在于黄绵土中,一般覆盖于地表或镶嵌在土壤中。

1.2 试验设计

针对自然界中碎石存在的 2 种形式布设 2 个试验,即碎石覆盖试验和土石混合试验,每个试验设 6 个处理,试验采用的土壤为沙黄土,碎石为料礓石,直径为 $3\sim 7\text{ cm}$,灌溉条件为天然降雨,不另行灌溉。

1.2.1 碎石覆盖试验 小区规格 $1.8\text{ m}\times 1\text{ m}$,碎石覆盖量分别为 $0、10、20、30、40、55\text{ kg}$,即 $0、5.56、11.11、16.67、22.22、30.56\text{ kg/m}^2$ 。每个处理均将碎石均匀覆盖在土壤表层。在每个处理小区中心区域埋设 1 根深度为 1.5 m 的中子管,区内植被为长

芒草。

1.2.2 土石混合试验 小区规格 $2\text{ m}\times 1\text{ m}\times 1\text{ m}$,土壤中碎石含量分别为 $0、10\%、15\%、20\%、30\%、40\%$,将 $0\sim 100\text{ cm}$ 深度的土壤翻耕,然后将 $50\sim 100\text{ cm}$ 深度土壤回填, $0\sim 50\text{ cm}$ 深度按不同处理的土石混合量回填,于各处理小区中心区域埋设 1 根深度为 2 m 的中子管,区内植被为柠条。

1.3 测定项目及方法

各处理每隔 10 d 利用 CNC503DR 型中子仪测定一次土壤含水量,从土壤表层开始每隔 10 cm 为一个探测点,直至中子管底部,测得数据根据以下公式^[16]求出土壤含水量:

$$y=26.224x/a+0.0606 \quad (1)$$

$$y=56.464x/a-0.7572 \quad (2)$$

其中, x 为中子仪测定数值; a 为校正系数, $a=793$; y 为土壤含水量。公式(1)对 $0\sim 20\text{ cm}$ 深度土壤适用,公式(2)对 20 cm 深度以下土壤适用。

1.4 数据分析

试验数据利用 Excel 2003 和 SPSS 15.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 碎石盖度对土壤水分的影响

从图 1 可以看出,所有处理的土壤含水量均随土层深度的增加呈先增加后缓慢减小的趋势,据此,可将土壤水分随深度的变化划分为 2 个阶段:土壤水分快速增加阶段($0\sim 30\text{ cm}$)和土壤水分缓慢减少阶段($30\sim 130\text{ cm}$)。

在土壤水分快速增加阶段,各处理的土壤水分变化趋势及土壤含水量几乎相同。表层 $0\sim 10\text{ cm}$ 土壤含水量较低,集中在 $0\sim 10\%$,主要受土壤水分蒸发控制;对比无碎石覆盖处理和其他 5 个处理发现,无碎石覆盖处理表层 $0\sim 10\text{ cm}$ 土壤含水量最小,集中在 $0\sim 6\%$,这说明表层碎石覆盖可以有效抑制土壤水分蒸发,这与 Yamanaka 等^[17]的研究结果一致。但是,Poesen 等^[3]的研究结果表明,在湿润的冬季,碎石覆盖能够减小土壤水分蒸发速率,而在干旱的夏季,碎石覆盖反而会加快土壤水分蒸发,这可能是由于在小尺度上,碎石的尺寸和位置控制碎石边缘的地表流形成,地表蒸发受其他因素和碎石覆盖共同作用决定。所有处理 $10\sim 20\text{ cm}$ 土壤含水量高于表层 $0\sim 10\text{ cm}$ 土壤含水量,这说明土壤水分蒸发不再是最主要的土壤水分损失途径。所有 $20\sim 30\text{ cm}$ 土壤含水量迅速增加,除了 30.56 kg/m^2 碎石覆盖处理外,其他处理土壤含水量多在 30 cm

处达到最大值,这可能是由于土壤入渗和土壤毛管上升力的共同作用。而 30.56 kg/m^2 碎石覆盖处理在土层深度 40 cm 处达到最大值,这可能由于碎石覆盖增加了土壤水分的入渗深度^[18]和湿润锋的运移速率^[19]。

在土壤水分缓慢减小阶段,5 个碎石覆盖处理的土壤含水量减小幅度明显低于无碎石覆盖处理,即 5 个碎石覆盖处理的土壤含水量明显高于无碎石覆盖处理,其中在 130 cm 处 5 个碎石覆盖处理的土壤含水量分别为 12.85% 、 18.33% 、 18.65% 、 18.67% 、 19.59% ,而无碎石覆盖处理土壤含水量仅

为 10.79% ,这可能是由于碎石覆盖增加了土壤水分入渗,土壤入渗率随着碎石盖度的增加而增大,这与 Dadkhah 等^[20]的研究结果一致。并且,随着土层深度的增加,5 个碎石覆盖处理的土壤含水量减小幅度变小,尤其是 30.56 kg/m^2 碎石覆盖处理的土壤含水量减小幅度几乎为 0,这可能是由于碎石对表层土壤的压实作用已经改变了土壤的某些物理性质,如孔隙度、水流弯曲度等,关于这一方面有待进一步研究。总体来看,5 个碎石覆盖处理的土壤水分动态变化趋势基本一致,且土壤含水量高于无碎石覆盖处理。

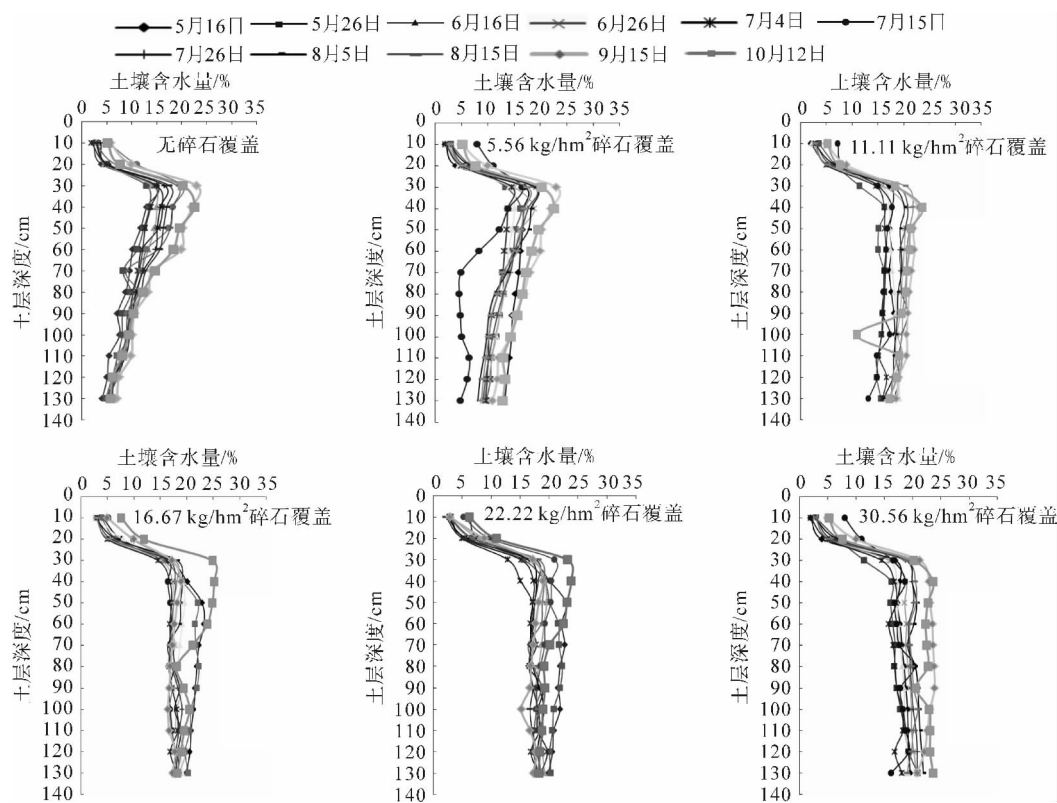


图 1 不同碎石覆盖量下不同深度土层的土壤含水量变化

2.2 碎石含量对土壤水分的影响

从图 2 可以看出,土石混合土壤中碎石含量不同,其对土壤含水量影响程度不同。土石混合的 5 个处理土壤含水量明显高于无碎石混合处理,其中在 180 cm 处 5 个土石混合处理的土壤含水量分别为 10.98% 、 12.16% 、 12.56% 、 12.54% 、 13.19% ,而无碎石混合处理土壤含水量仅为 6.76% ,这是由于碎石增加了土壤入渗率和大孔隙数量,有利于土壤水分的存储,这与 Epstein 等^[21]的研究结果一致。也有研究指出,含碎石土壤入渗率增加是由于碎石间空隙、土壤和碎石界面形成的新孔隙以及碎石内部增加的孔隙

提供了有效的水分运动通道^[22]。随着土层深度的增加,每个处理的土壤含水量都呈明显增加趋势,但是,不含碎石处理的水分动态变化明显不同于其他 5 个处理。无碎石处理的土壤水分呈平缓增加趋势,而其他 5 个含碎石处理的土壤含水量变化波动明显,其中碎石含量为 15% 、 20% 、 30% 、 40% 处理的土壤含水量波动大于碎石含量为 10% 的处理。这是由于土壤中的碎石主要通过影响大孔隙分布、水流弯曲度和过水断面来影响土壤水分入渗,碎石含量越高,其影响程度越大;而具体的影响过程,则由碎石的含量、尺寸和在土层中的位置^[10,23]或土壤粒级^[24]决定。

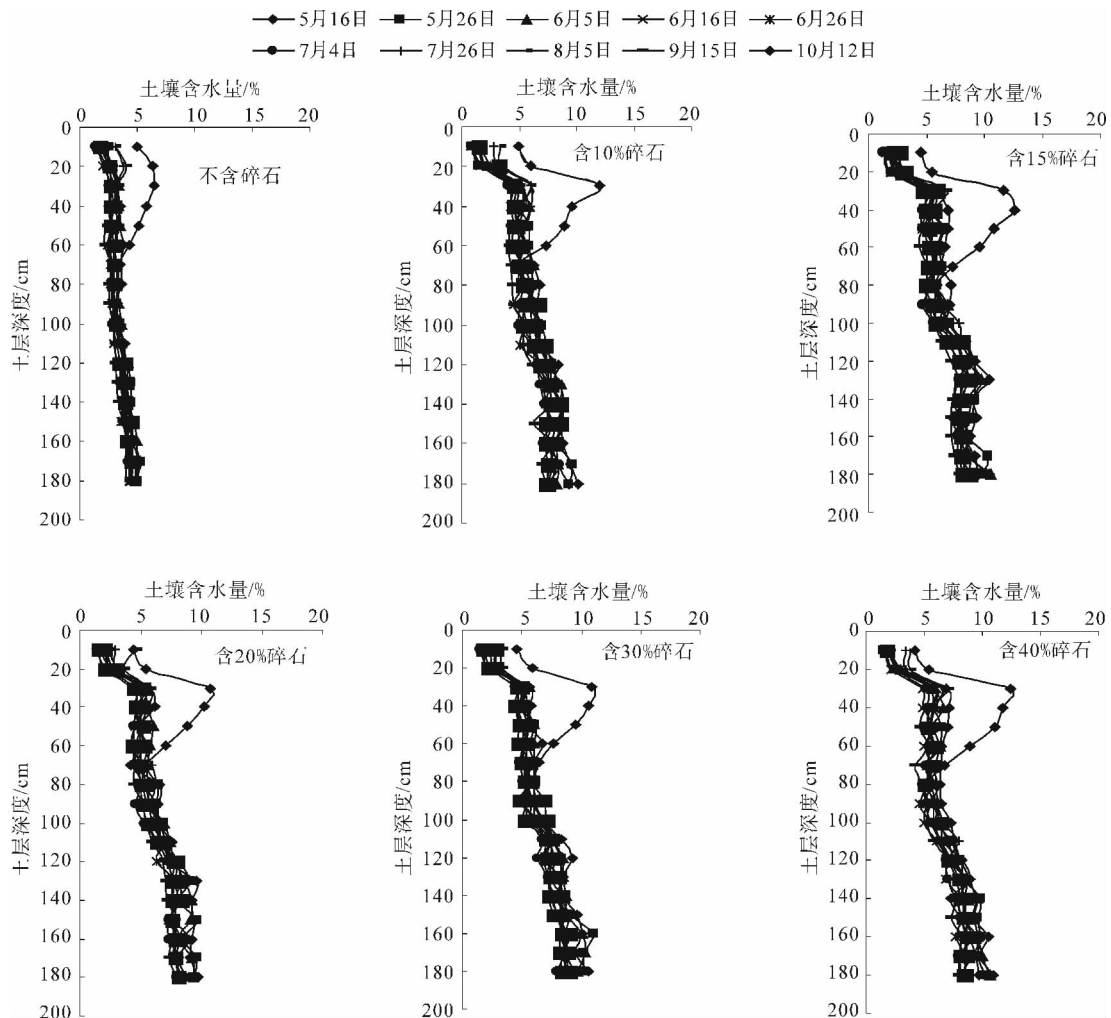


图 2 不同土石混合比下不同深度土层的土壤含水量变化

3 结论与讨论

本研究结果表明,在碎石覆盖条件下土壤含水量随土层深度的增加呈先增加再缓慢减少的趋势;在土石混合条件下土壤含水量呈波浪式增加趋势。2 种条件下土壤水分变化规律的不同,可能是由于碎石覆盖于地表和碎石镶嵌在土壤中对土壤水分的影响机制不同,碎石覆盖于地表主要通过抑制地表水分蒸发,增加水分入渗深度来改变土壤含水量,而碎石镶嵌在土壤中主要通过改变土壤物理性质,增加土壤入渗率和大孔隙数量来改变土壤水分的分布状况,关于碎石对土壤水分的具体影响机制有待进一步研究。在本研究中,碎石覆盖试验中的土壤含水量高于土石混合试验,在相同的灌溉和降雨条件下,这可能与小区内种植植物的耗水情况有关,碎石覆盖试验中种植的植物是长芒草,土石混合试验中种植的植物为柠条,柠条属灌木,根系能深入土壤数米,对水分的需求高于长芒草。

综上所述,碎石覆盖于地表和碎石镶嵌在土壤中均可以提高土壤含水量,其中碎石覆盖于地表可以有效抑制表层土壤水分蒸发,增加水分入渗深度;碎石镶嵌在土壤中可以改变土壤物理性质,增加土壤入渗率和大孔隙数量,且碎石含量越高,其对土壤物理性质的影响程度越大。因此,黄土高原地区制定灌溉措施时应考虑碎石分布状况。

参考文献:

- [1] 马东豪,邵明安. 含碎石土壤的含水量测定误差分析[J]. 土壤学报, 200, 45(2): 201-206.
- [2] 朱元骏,邵明安. 不同碎石含量的土壤降雨入渗和产沙过程初步研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 64-67.
- [3] Poesen J, van Wesemael B, Bunte K, et al. Variation of rock fragment cover and size along semiarid hillslopes: a case-study from southeast Spain[J]. Geomorphology, 1998, 23(2/4): 323-335.
- [4] Poesen J, Lavee H. Rock fragments in topsoils: significance and processes[J]. Catena, 1994, 23(1/2): 1-28.

- [5] 赵梅. 黄土区土石混合土壤水分有效性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [6] Cerd A. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion[J]. *European Journal of Soil Science*, 2001, 52(1): 59-68.
- [7] Wijdenes D J O, Poesen J. The effect of soil moisture on the vertical movement of rock fragment by tillage [J]. *Soil and Tillage Research*, 1998, 49(4): 301-312.
- [8] Ravina I, Magier J. Hydraulic conductivity and water retention of clay soils containing coarse fragments[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1984, 48(4): 736-740.
- [9] Cousin I, Nicoullaud B, Coutadeur C. Influence of rock fragments on the water retention and water percolation in a calcareous soil[J]. *Catena*, 2003, 53(2): 97-114.
- [10] Lavee H, Poesen J. Overland flow generation and continuity on stone-covered soil surfaces [J]. *Hydrol Process*, 1991, 5(4): 345-360.
- [11] 马东豪. 黄土区土石混合介质水分运动试验研究及数值模拟[D]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2009.
- [12] Abrahams A D, Parsons A J. Hydraulics of interrill flow on stone-covered desert surfaces [J]. *Catena*, 1994, 23(1/2): 111-140.
- [13] Valentin C. Surface sealing as affected by various rock fragment covers in West Africa [J]. *Catena*, 1994, 23(1/2): 87-97.
- [14] Hu W, Shao M A, Wang Q J, *et al.* Temporal changes of soil hydraulic properties under different land uses [J]. *Geoderma*, 2009, 149(3/4): 355-366.
- [15] 侯庆春. 神木试区自然条件及环境整治综合分析 [C]//中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊: 神木水蚀风蚀交错带生态环境整治技术及试验示范研究论文集. 杨凌:中国科学院水利部西北水土保持研究所,1993.
- [16] 陈洪松,邵明安. 中子仪的标定及其在坡地土壤水分测量中的应用[J]. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(2): 68-76.
- [17] Yamanaka T, Inoue M, Kaihotsu I. Effects of gravel mulch on water vapor transfer above and below the soil surface [J]. *Agricultural Water Management*, 2004, 67(2): 145-155.
- [18] Figueiredo T, Poesen J. Effects of surface rock fragments characteristics on interrill runoff and erosion of a silty loam soil [J]. *Soil Tillage Research*, 1998, 46(1/2): 81-95.
- [19] Martine-Zavala L, Jordán A. Effect of rock fragment cover on interrill soil erosion from bare soils in Western Andalusia, Spain [J]. *Soil Use Manage*, 2008, 24(1): 108-117.
- [20] Dadkhah M, Gifford G F. Influence of vegetation, rock cover and trampling on infiltration rates and sediment production [J]. *Water Resour Bull*, 1980, 16(6): 979-986.
- [21] Epstein E, Grant W J, Struchtemeyer R A. Effects of stones on runoff erosion, and soil moisture [J]. *Society of America Proceeding*, 1966, 30(5): 638-640.
- [22] 王慧芳,邵明安. 含碎石土壤水分入渗试验研究[J]. *水科学进展*, 2006, 17(5): 604-609.
- [23] Poesen J, Lavee H. Effects of size and incorporation of synthetic much on runoff and sediment yield from interrills in a laboratory study with simulated rainfall [J]. *Soil and Tillage Research*, 1991, 21(3/4): 209-223.
- [24] 杨艳芬,王全九,曾辰,等. 土石混合介质水分入渗特性试验研究[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(5): 87-90.