

黄土丘陵沟壑区不同退耕草地土壤水分研究

赵佰礼¹, 穆兴民^{1,2}, 高鹏^{1,2}, 赵广举^{1,2}, 孙文义^{1,2}, 田鹏^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,
陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为了研究黄土丘陵沟壑区不同退耕方式、不同深度土壤水分含量的变化规律。以陕西省安塞县纸坊沟流域水平阶草地和自然草地两种退耕草地为研究对象,通过野外定位连续观测资料,研究了两种草地0—500 cm土层内的土壤含水量变化。结果表明:降水对土壤水分的影响比较明显,且水平阶退耕草地土壤含水量(13.38%)>自然退耕草地(13.21%);水平阶退耕草地和自然退耕草地浅层土壤含水量的年内变化趋势基本相同;200 cm深度以下水平阶退耕草地普遍高于自然退耕草地;在不同生长周期土壤水分在不同深度具有明显差异,以生长期为例,0—100 cm深度平均土壤含水量自然退耕草地(12.46%)>水平阶退耕草地(11.58%),100 cm深度处自然退耕草地(14.02%)<水平阶退耕草地(14.44%);次降雨对不同深度土壤含水量的影响不同,对表层土壤含水量影响最大。研究结果表明:在退耕还草基础上应该适当采取一些水土保持措施来提高退耕地植被恢复的效果。

关键词:黄土高原;水平阶草地;自然草地;土壤含水量

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)04-0111-05

Study on Soil Moisture in Two Returning Farm-land Patterns in Gully and Hilly Region of the Loess Plateau

ZHAO Baili¹, MU Xingmin^{1,2}, GAO Peng^{1,2}, ZHAO Guangju^{1,2}, SUN Wenyi^{1,2}, TIAN Peng^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau,
Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water
Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Understanding the variation of the soil moisture of different farm-land conversion patters and depth is important for better using the soil water in the Loess Hilly region. Using field positioning continuous observation data, we reviewed the soil moisture between bench grassland and nature grassland in Zhifang catchment of Ansai, Shaanxi Province that soil depth falls into the scope of 0—500 cm. The results of the study show that the effect of rainfall on soil moisture is obvious, and the soil moisture content of bench grassland (13.38%) is higher than that of natural grassland (13.21%); the variation trend of soil moisture content was basically the same in bench grassland and natural grassland; soil moisture content of the layer below 200 cm in the bench grassland is generally higher than that of the natural grassland; soil moisture has obvious difference at different depths in different periods; in the growth period, averaged soil water content moisture content of natural grassland(12.46%) is higher than that of horizontal grassland(11.58%) in 0—100 cm depth, the soil moisture of nature grassland (14.02%) is less than that of the bench grassland (14.44%); the effects of individual rainfall event on soil moisture at different depths are different, and the influence of surface layer is the largest. The results suggest that, some measures of soil and water conservation should be taken to improve the effect of vegetation restoration on the basis of conversion of farmland to grassland.

Keywords: the Loess Plateau; bench grassland; natural grassland; soil water content

黄土高原丘陵沟壑区属于干旱半干旱地区,植被覆盖度低,水土流失严重^[1]。限制该地区植被生长的

主要因素是水分状况^[2],土壤水分对植被生长的影响一直是生态学和土壤学的研究热点之一^[3]。土壤水

分状况与土地利用和植被覆盖密切相关^[4-6],土壤水是该地区植被生长发育所需水的主要来源^[7],而降雨是土壤水的重要补给来源^[8]。长期以来,由于滥垦滥牧,毁林开荒,且降水不足,气候干燥,蒸散发强度大,使黄土高原丘陵沟壑区土壤水分极度缺乏,导致土地生产力严重降低^[9]。引起了一系列的生态环境问题,限制了当地的农业和畜牧业可持续发展^[10]。1999 年提出的黄土高原生态建设和经济发展的 16 字方针“退田还草(林),封山绿化,个体承包,以粮代赈”,为黄土高原的生态环境修复和开发建设提供了实质性措施。

随着近 20 年来的退耕还林草工程的实施,大规模的退耕还林还草^[11],显著提高了林草覆盖率,也在一定程度上改变了土壤的理化性质^[12-13],研究表明,2000—2012 年黄土高原植被覆盖面积呈增大态势,植被覆盖率由 29.77% 增加到 39.15%^[14]。黄土高原水土流失逐步得到控制,基本实现了生态环境的良性发展。有关植被恢复、降水与土壤水分的研究形式多样,内容丰富。许多学者研究了降雨和表层土壤水分的关系,王军等^[15]研究了 0—70 cm 草地土壤水分年际间平均变化;有些学者研究了深层土壤水分的变化,但是局限于年内和年际降雨对土壤水分的影响,如刘志鹏等^[16]研究了 0—800 cm 土壤水分动态变化,得出土壤含水率在垂直方向 0—800 cm 范围内呈干湿交替的层状分布,出现相对高湿层和相对低湿层;较少学者对次降雨与深层土壤水分动态变化的关系进行研究。因此,本研究选取黄土高原丘陵沟壑区同一坡度两种不同退耕还草方式的小区,基于土壤不同深度的土壤水分动态连续观测数据,研究退耕草地深层土壤水分的变化特征,为该区退耕还林(草)工程可持续发展提供科学理论依据,同时也为该区的农业和畜牧业生产环境提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省延安市安塞县南 30 km 左右的纸坊沟小流域,地理坐标为北纬 36°43′36″,东经 109°15′14″,海拔 1 012~1 731 m^[17]。气候属于中温带大陆性半干旱季风气候,干湿分明。春季气温回升较快,变化大,有霜冻,雨量少,年均温度 8.8℃,年均降雨量 505.3 mm,无霜期 158 d^[18]。研究区内土壤类型为黄绵土,土质疏松,抗冲性和抗蚀性较差,水土流失严重。土壤颗粒以细沙粒和粉粒为主,土壤容重为 1.3 g/cm³ 左右,总孔隙度为 55% 左右。小区内主要有长芒草(*Stipa bungeana*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、胡枝子(*Lespedeza bi-*

color Turcz)、百里香(*Thymus mongolicus* Ronn)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)等草本植物。

1.2 试验区概况

本试验点位于退耕还草的坡面,研究区内共设有两个小区,每个小区 3 个重复,分别为自然退耕草地和水平阶退耕草地,是处在同一地形条件下的两种不同退耕地,退耕年限 16 a,总面积约 400 m²,坡度范围 20°~30°,坡向为北偏东 19°,草地覆盖度约为 40%。

1.3 数据来源

试验仪器采用北京雨根科技有限公司生产的 RR-7120 土壤湿度自动检测系统,土壤含水量为容积含水量,本研究中用重量含水量进行了标定。每个小区内预先埋有 500 cm 深度的土壤水分测定探头 16 个,连续测定地下深度 20,40,60,80,100,120,140,160,180,200,250,300,350,400,450,500 cm 的土壤水分,观测频次为 10 min/次,观测时间为 2015 年 10 月 17 日—2017 年 5 月 5 日。小区外设有小型气象站,测定的指标有温度、湿度、光合有效辐射、太阳辐射、风向、风速和降雨量。

2 结果与分析

2.1 降雨对两种草地土壤含水量年内变化的影响

黄土区表层土壤水分易受降雨入渗补给和蒸散耗水的影响,因此该层的土壤水分具有明显的季节性变化特征^[19]。2016 年 0—500 cm 土壤含水量与降雨量的变化如图 1 所示。1—3 月份降雨量少,土壤含水量也比较低,从 4 月份开始两种草地土壤含水量逐渐升高,水平阶草地升高的幅度大于自然草地;7 月份降雨充足,两种草地的土壤含水量达到全年最大值;8 月份降雨量减少,且植物生长处于最旺盛的时候,所以 8 月份土壤含水量降低;9 月份降雨量急剧减少,土壤含水量降低;10 月份降雨量增加,且植物对水分的需求量较小,该月土壤含水量上升。2016 年的降雨在 7 月份达到最大值 90.6 mm,占全年的 22.28%,月降雨量动态变化趋势呈单峰变化,6—8 月份降雨总量占年降雨量的 58.5%。雨季前(5 月份前)两种草地的土壤含水量比较低,进入雨季,土壤含水量发生变化,两种草地均在 7 月份达到最大值,说明降雨对土壤含水量的影响比较明显,在 4—10 月份土壤平均含水量水平阶草地(13.38%)>自然草地(13.21%)。从土壤水分恢复情况来看,水平阶草地含水量在各月均大于自然草地,表明水平阶具有更好的保水持水能力。

2.2 两种草地不同深度土壤含水量年内变化

水平阶草地和自然草地浅层土壤含水量的年内变化趋势基本相同,但 200 cm 以下水平阶草地普遍

大于自然草地(图 2)。分析两种草地不同深度土壤含水量年内变化等值线图表明,两种草地 0—20 cm 范围内土壤含水量随时间的变化波动剧烈,雨季土壤含水量升高,非雨季降低;20—40 cm 是植物根系吸收水分的有效范围,土壤含水量变化也比较明显;40—200 cm 是土壤含水量比较稳定的层次;250 cm 处是一个过渡带,此层的水分既可以补给上层的土壤水分也可以对下层土壤水分进行补给;300—500 cm 深度是一个稳定的层次,外界各种因素的变化对此层土壤水分的影响很微弱,所以深层含水量变化趋势基本相同;土壤含水量在 250 cm 深度处降低,250 cm 以下土壤含水量又逐渐升高,即存在土壤水分“干层”现象。在 1—2 月份,降水少,温度低,植物需水量少,土壤水分处于收支平衡阶段;2—11 月份,两种草地

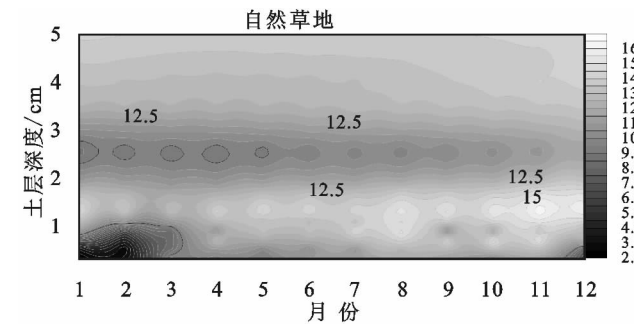


图 2 两种草地不同深度土壤含水量年内变化

2.3 两种草地不同生长周期土壤水分变化特征

选取分别代表植物非生长期、生长期开始、生长期、生长期结束的 1 月、4 月、8 月和 11 月,以研究植物不同生长季节的土壤水分变化(图 3)。非生长期自然草地土壤表层水分含量(2.65%)<水平阶草地(3.38%),100 cm 深度处自然草地(13.48%)>水平阶草地(13.33%),500 cm 深度处自然草地(14.61%)<水平阶草地(15.27%);生长期开始自然草地土壤表层水分含量(10.11%)<水平阶草地(10.44%),100 cm 深度处自然草地(13.56%)>水平阶草地(13.07%),500 cm 深度处自然草地(14.33%)<水平阶草地(14.85%);生长期自然草地土壤表层水分含量(12.46%)>水平阶草地(11.58%),100 cm 深度处自然草地(14.02%)<水平阶草地(14.44%),500 cm 深度处自然草地(14.39%)<水平阶草地(14.99%);生长期结束自然草地土壤表层水分含量(11.92%)>水平阶草地(11.08%),100 cm 深度处自然草地(14.87%)<水平阶草地(15.15%),500 cm 深度处自然草地(14.76%)<水平阶草地(15.14%),可见自然草地和水平阶草地在 4 个时期 0—100 cm 深度的含水量互有交叉,而 100 cm 以下水平阶草地含水量均大于自然草地,特别是 200—500 cm 土层,水平阶

的含水量虽有差别但变化趋势基本相同,有降雨的情况下,0—100 cm 范围内土壤含水量有不断上升的趋势,对深层土壤的影响比较小,没有降雨的情况下土壤含水量降低;11—12 月份降水减少,浅层土壤含水量随之降低,深层土壤含水量变化不明显。

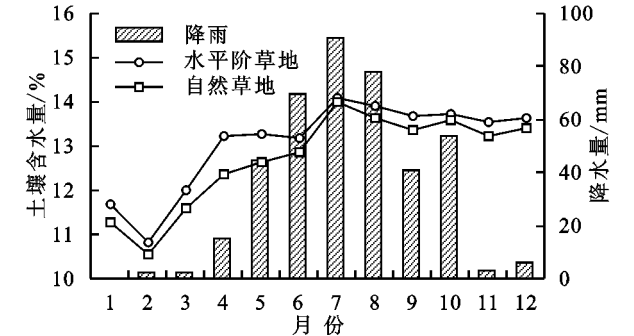


图 1 降雨对两种草地土层土壤含水量年内变化的影响

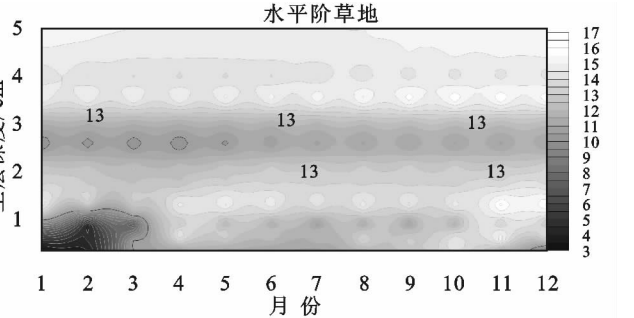


图 2 两种草地不同深度土壤含水量年内变化

草地在 4 个时期均大于自然草地。这主要是由于水平阶草地具有较好的持水性和保水能力,对深层土壤水分的补充具有长期性。

2.4 次降雨条件下两种草地土壤水分变化

黄土区降雨入渗深度与降雨量相对应,降雨愈丰入渗愈深,入渗深度多为 1~2.5 m^[20]。由于 8 月份降雨量充沛,植物生长旺盛,本研究选取 8 月份典型降雨条件下的土壤含水量和次降雨数据进行分析(图 4)。8 月份主要有 5 日、16 日、17 日和 24 日 4 次降雨,降雨量分别为 4.8、10.8、30.6、27.6 mm。每次降雨后两种草地土层深度在 0—20 cm 处,土壤含水量随着降雨的变化有显著变化,20—100 cm 范围内有一定的变化,100 cm 以下土壤含水量变化不明显。8 月 5 日,自然草地和水平阶草地表层土壤含水量分别是 8.68%、9.78%,500 cm 深度处两种草地的土壤含水量分别是 14.38%、15.00%;8 月 16 日,自然草地和水平阶草地表层土壤含水量分别是 9.83%、9.78%,500 cm 深度处两种草地的土壤含水量分别是 14.39%、15.00%;8 月 17 日,自然草地和水平阶草地表层土壤含水量分别是 18.35%、19.15%,500 cm 深度处两种草地的土壤含水量分别是 14.39%、14.99%;8 月 24 日,自然草地和水平阶草地表层土壤含水量分别是 12.58%、

13.74%, 500 cm 深度处两种草地的土壤含水量分别是 14.41%, 15.00%; 由此可见两种草地表层的土壤

水分变化并没有明显的差异, 但深层土壤水分水平阶草地比自然草地要高。

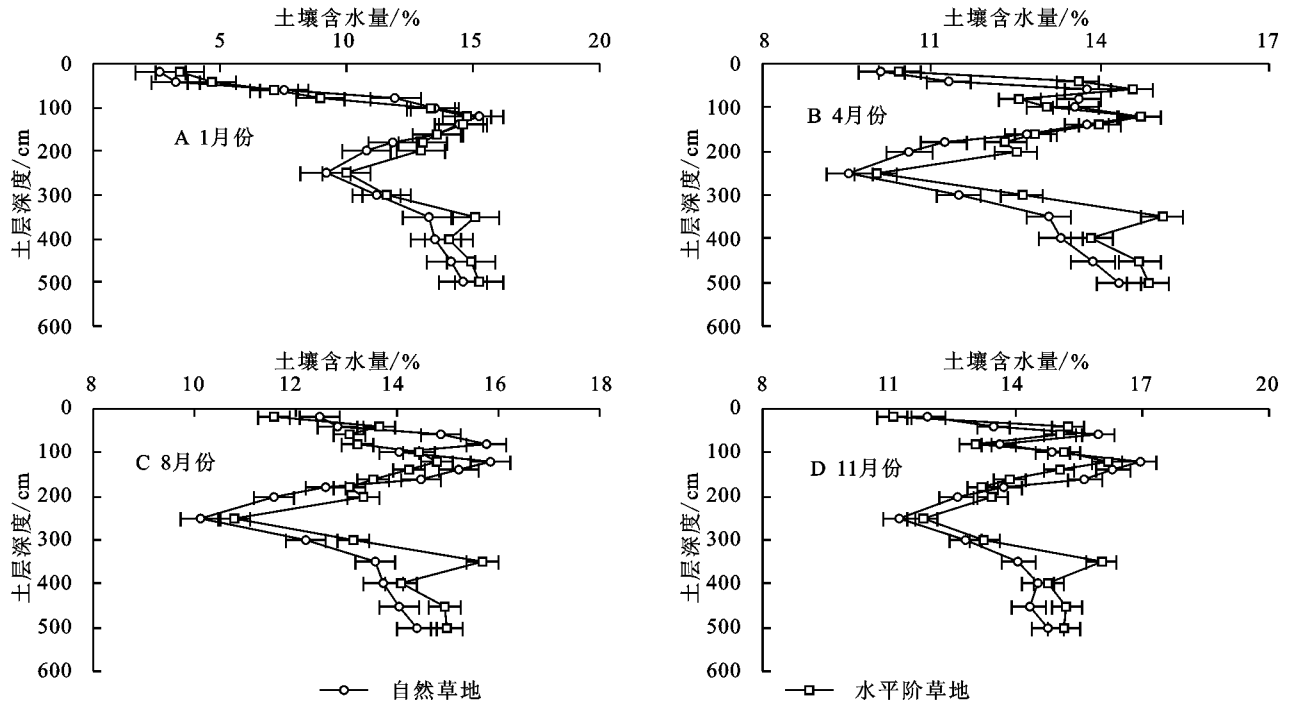


图3 两种草地不同生长周期 0—500 cm 土层土壤含水量的变化特征

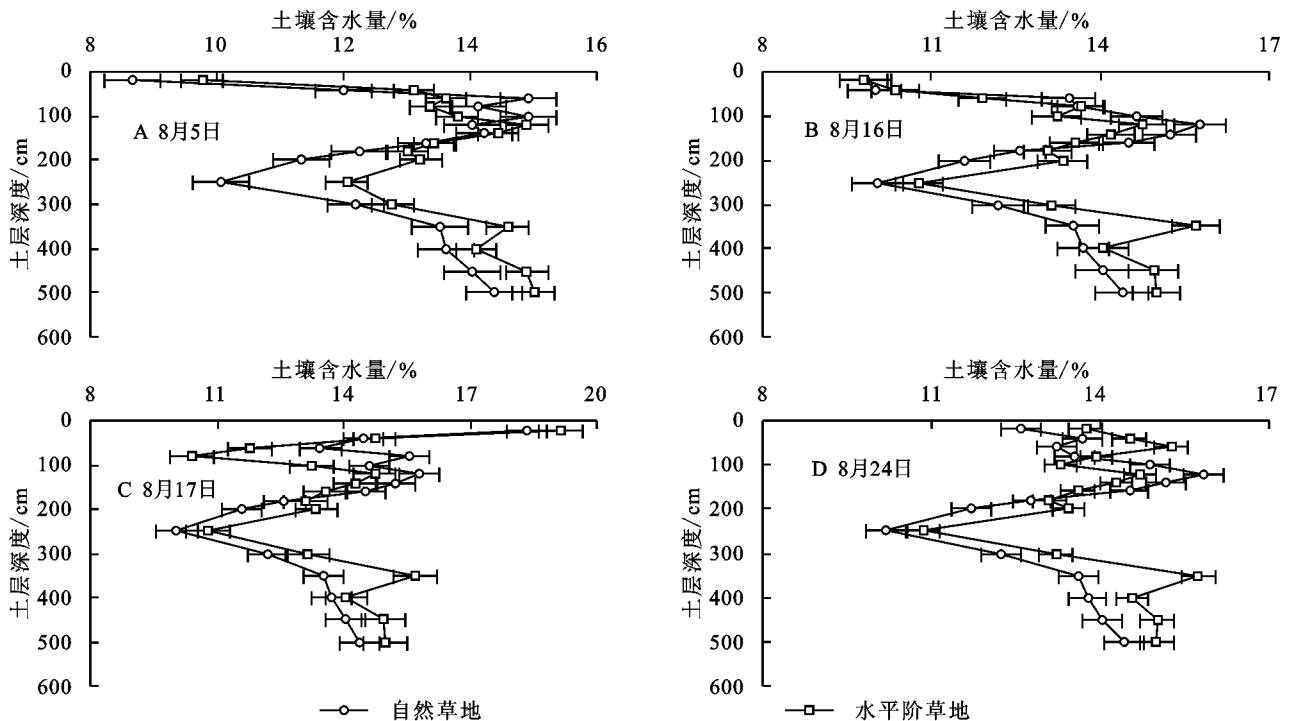


图4 次降雨对不同深度土壤含水量的影响

3 讨论

对于深层土壤的水分状况, 水平阶草地的土壤水分高于自然草地, 以 7 月份为例, 水平阶草地和自然草地表层土壤含水量分别为 14.10%, 13.99%。大量研究表明^[21-22], 水平阶具有蓄水保水的功能, 所以相同降雨条件下水平阶草地的土壤含水量高于自然

草地。即在相同的退耕条件下有水土保持措施的草地保水性和持水性比无水土保持措施的草地的要好。

本研究中亦发现土壤水分“干层”现象。自然草地和水平阶草地含水量均在 250 cm 深度处突然降低, 但是 300 cm 处土壤含水量又逐渐升高。出现这种现象的原因是在黄土高原较为严重的干旱条件下, 地表蒸发强烈, 林草植被不能从天然降雨中获取足够

的水分,为了维持其正常生长的需要,必然要吸收深层土壤的水分。在林草植被长期过度耗水的情况下,土壤含水量长时间处于亏缺状态,甚至达到或接近凋萎湿度,最终导致土壤干化形成土壤干层^[23-24]。程积民等^[10]研究得出土壤干层恢复可分为3个阶段:第一阶段1~2 a为缓慢恢复期;第2阶段在3~5 a为稳定恢复期;第3阶段在6 a以上为快速恢复期。干层的土壤水分要自然恢复到种植前的含水量需要6~7 a;通过水平阶和水平沟整地进行人工调控,土壤水分比自然恢复可提前2~3 a,一般需要4~5 a的时间即可恢复正常。本研究只有一年的数据,退耕草地还处于缓慢恢复期,还不能充分解释干层土壤水分恢复的过程;根据本研究结果可以看出经过人工调控的水平阶草地土壤水分要比自然草地高,我们认为退耕草地土壤干层水分是可以恢复到正常状态,而且有水保措施调控的退耕草地的恢复时间比自然退耕草地的恢复时间要短。

4 结论

(1) 水平阶退耕草地和自然退耕草地的年内土壤含水量变化趋势基本相同,雨季土壤含水量升高,非雨季降低;土壤含水量在表层变化明显,深层没有显著的变化。

(2) 两种退耕草地在不同生长周期土壤水分在不同深度具有明显差异,以生长期为例,自然草地土壤表层水分含量(12.46%)>水平阶草地(11.58%),100 cm深度处自然草地(14.02%)<水平阶草地(14.44%),表现在0—100 cm深度土壤含水量互有交叉,而100 cm以下水平阶草地含水量均大于自然草地,这主要是由于水平阶草地具有较好的持水性和保水能力,对深层土壤水分的补充具有长期性。

(3) 次降雨对两种草地不同深度土壤含水量的影响不同,从本研究数据来看,次降雨对土壤表层土壤水分的影响明显,对深层土壤水分的影响还不太明显。

参考文献:

- [1] 李永红,高照良. 黄土高原地区水土流失的特点、危害及治理[J]. 生态经济,2011(8):148-153.
- [2] 王云强,邵明安,刘志鹏. 黄土高原区域尺度土壤水分空间变异性[J]. 水科学进展,2012,23(3):310-316.
- [3] 孙中峰. 黄土残源沟壑区林地土壤水分时空特性分析[J]. 黑龙江水专学报,2003,30(3):6-9.
- [4] 张兴昌,卢宗凡. 坡地土壤水分动态及耗水规律研究[J]. 水土保持研究,1996,3(2):46-56.
- [5] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J]. 自然资源学报,2001,16(5):427-432.

- [6] Liu Y, Li S, Chen F, et al. Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the Loess Plateau, China[J]. Agricultural Water Management, 2010,97(5):769-775.
- [7] 王军,傅伯杰,邱扬,等. 黄土丘陵区土地利用与土壤水分的时空关系[J]. 自然资源学报,2001,16(6):521-524.
- [8] 张北赢,徐学选,刘文兆. 黄土高原丘陵沟壑区不同水土保持措施条件下土壤水分状况[J]. 农业工程学报,2009,25(4):54-58.
- [9] 穆兴民,徐学选,王文龙,等. 黄土高原人工林对区域深层土壤水环境的影响[J]. 土壤学报,2003,40(2):210-217.
- [10] 程积民,万惠娥. 黄土高原半干旱区集流灌草立体配置与水分调控[J]. 草地学报,2000,8(3):210-219.
- [11] 程积民,万惠娥,王静,等. 黄土丘陵区沙打旺地土壤水分过耗与恢复[J]. 生态学报,2002,24(12):2979-2983.
- [12] Wang L, Mu Y, Zhang Q F, et al. Effects of vegetation restoration on soil physical properties in the wind-water erosion region of the northern loess plateau of China[J]. Archives Science Study, 2012,40(1):7-15.
- [13] 李晓东,魏龙,张永超,等. 土地利用方式对陇中黄土高原土壤理化性状的影响[J]. 草业学报,2009,18(4):103-110.
- [14] 高健健,穆兴民,孙文义. 2000—2012年黄土高原植被覆盖的时空变化[J]. 人民黄河,2015,37(11):85-91.
- [15] 王军,傅伯杰,邱扬,等. 黄土丘陵区土地利用与土壤水分的时空关系[J]. 自然资源学报,2001,16(6):521-524.
- [16] 刘志鹏,邵明安. 黄土高原小流域土壤水分及全氮的垂直变异[J]. 农业工程学报,2010,26(5):71-77.
- [17] 姜峻,王百群,曹清玉,等. 安塞黄土丘陵区人工草地生产力与土壤水分特征[J]. 中国农学通报,2010,26(3):188-195.
- [18] 黄瑾,姜峻,徐炳成. 黄土丘陵区达乌里胡枝子人工草地生产力与土壤水分特征研究[J]. 中国农学通报,2005,21(6):245-248.
- [19] 程立平,刘文兆,李志. 黄土塬区不同土地利用方式下深层土壤水分变化特征[J]. 生态学报,2014,34(8):1975-1983.
- [20] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学报,1983,3(2):91-101.
- [21] 王萍,王克勤,李太兴,等. 反坡水平阶对耕地径流和泥沙的调控作用[J]. 应用生态学报,2011,24(5):1-6.
- [22] 任柯蒙,王伟,赵西宁,等. 基于水蚀预报模型的黄土高原水平阶减流阻蚀效应模拟[J]. 生态学报,2018,38(14):1-11.
- [23] 杨文治,余存祖. 黄土高原区域治理评价[M]. 北京:科学技术出版社,1992.
- [24] 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,1998,28(4):357-365.