

# 黄土丘陵区不同土地利用类型土壤水分时空变异特征

朱乐天<sup>1</sup>, 焦峰<sup>2,3</sup>, 刘源鑫<sup>1</sup>, 贺国鑫<sup>4</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源与环境学院, 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; 3. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 北京市面上天竺苗圃, 北京 100621)

**摘要:**以黄土丘陵区的延河流域为研究区域, 分析了 3 个时期(雨季前、雨季中、雨季后)不同土地利用类型对土壤水分动态的影响。结果表明:在水平层面、垂直剖面上土地利用类型对土壤水分动态有着显著的影响, 农耕地土壤水分含量最高, 并且对土壤水分含量影响最为明显, 使其保持在一个较高的水平; 其次是天然草地、撂荒地、乔木林地、果园用地和幼林地; 含量最低的为灌木林地。在垂直剖面上, 雨季前干旱期为递增型; 雨季中湿润期为递减型和波动型; 雨季后半湿润期为先减后增型。从总体趋势上来看, 土壤水分的时空格局与降雨季节变化、植物蒸腾作用以及土地耕作利用方式密切相关。在延河流域, 土地利用方式对土壤水分在不同的季节都具有显著性的影响。在该流域的管理中, 应充分考虑不同土地利用类型对土壤水分的影响, 优化土地利用结构, 使流域的治理达到最优。

**关键词:**土壤水分; 土地利用类型; 延河流域

中图分类号: S152.7; F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)06-0115-04

## Spatio-temporal Variation Characteristics of Soil Moisture under Different Land Uses in the Loess Hilly Region

ZHU Le-tian<sup>1</sup>, JIAO Feng<sup>2,3</sup>, LIU Yuan-xin<sup>1</sup>, HE Guo-xin<sup>4</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Beijing Tianzhu Nursery, Beijing, 100621, China)

**Abstract:** Effects of land use types on dynamic of soil moisture in three different periods (before the rainy season, at the rainy season, after the rainy season) in Yanhe basin were analyzed in this paper. The results show that the land use types have the significant influences on soil moisture on the horizontal and vertical scales, soil moisture of farm land is the highest and land use as farm land obviously influences soil moisture, which is followed by the natural grassland, bare land, woodland, orchard land and young forest land, and the soil moisture is the lowest in shrub land. In profile, the soil moisture increases along the depth of soil layer before the rainy season (drought period), the soil moisture decreases or fluctuates in the middle period of rainy season (humid period). The soil moisture declines firstly and then it increase in the late rainy season. It can be seen that the spatio-temporal pattern of soil moisture is closely related to rainfall distribution, plant transpiration and land use. In Yanhe River basin, land use types significantly influence soil moisture in different seasons. It is essential for management of this river basin and optimal basin administration that the effects of different land use types on soil moisture are paid attention and the land use structure is optimized.

**Key words:** soil moisture; land use; Yanhe River Basin

土壤水分在干旱半干旱地区是土壤微生物、植物最主要的水源, 是土壤肥力的最重要的因素之一<sup>[1]</sup>。相关文献已经表明, 土壤含水率同地表环境因素有着密切的联系, 受降雨、植被、地形、土壤质地和土地利

用方式等的显著影响<sup>[2]</sup>。黄土丘陵沟壑区属干旱半干旱地区, 由于人为活动的干涉, 该地区土地利用类型呈现多样化趋势<sup>[3-5]</sup>。而土壤水分状况又与土地利用方式密切相关, 一方面土壤水分状况影响到植被和

收稿日期: 2011-05-09

修回日期: 2011-06-10

资助项目: 中科院知识创新重要方向项目(KZCX2-EW-406); 国家重点基金(41030532); 中科院西部之光项目(2009y236)

作者简介: 朱乐天(1988-), 男, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要从事 GIS 与土壤方向的研究。E-mail: zhuletian\_123@163.com

通信作者: 焦峰(1967-), 男, 陕西三原人, 副研究员, 博士, 主要从事 GIS 应用、水土保持与环境效应监测评价研究。E-mail: jiaof11@126.com

农作物的生长,同时植被覆盖和土地利用方式也影响着土壤水分的含量及其分布<sup>[6-8]</sup>。因此研究土地利用类型和土壤水分间的关系对植被建设、水土流失治理等方面具有十分重要的意义。本文通过使用经典统计学方法,对延河流域的水平方向和垂直方向土壤水分含量与该地区主要土地利用类型之间关系进行分析,从而为该流域内植被的建设以及土地合理利用方式提供可靠的科学依据。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区延河流域位于陕北黄土高原中部,地理位置为  $36^{\circ}21' - 37^{\circ}19'N$ ,  $108^{\circ}38' - 110^{\circ}29'E$ , 干流总长 286.9 km, 面积 7 687 km<sup>2</sup>。该流域属暖温带大陆性半干旱季风气候, 年平均气温  $8.8 \sim 10.2^{\circ}C$ , 年均降雨量为 520 mm, 其中 6—9 月降雨量占全年降雨量

的 75% 以上。流域植被区划属于森林草原地带。流域内土壤质地主要以黄绵土为主, 土壤结构为粉沙质, 由于几千年来掠夺式的垦殖制度, 滥砍滥伐, 导致自然林草植被急剧减少, 土面蒸发强烈, 抗冲性差, 水土流失严重, 属极强度侵蚀区<sup>[9-10]</sup>。流域主要土地利用类型包括: 农耕地、灌木林地、乔木林地、果园用地、撂荒地、天然草地、幼林地, 详见表 1。

### 1.2 研究方法

在流域内共选取 7 个典型土地利用类型, 根据地形特征选取 293 个样地。对各个样地的立地条件进行了调查记录。用烘干法测定 0—20, 20—40, 40—60, 60—80, 80—100 cm 土层水分含量。测定时间分别为 2010 年 5 月底(雨季前)、8 月初(雨季中)和 11 月底(雨季后), 土壤水分含量采用土壤质量含水量表示。采用单因素方差分析(ANOVA)分析不同土地利用类型之间土壤水分含量的差异。

表 1 流域各土地利用类型基本情况

土地利用类型	坡度/(°)	坡位	海拔/m	主要植被类型
灌木林地	24~38	中上坡、塄顶	1261~1320	沙棘( <i>Hippophae rhamnoides</i> )
果园用地	6~11	梁	1180~1210	梨树( <i>Pyrus sorotina</i> )
撂荒地	0~14	塄顶	1094~1415	百里香( <i>Thymus mongolicus</i> )
农耕地	0~9	坡下、沟台地	1077~1268	玉米( <i>Zea mays</i> L.)
乔木林地	7~18	梁	1153~1167	刺槐( <i>Robinia pseudoacacia</i> )、杠柳( <i>Periploca sepium</i> )
天然草地	22~26	中下坡	1159~1188	胡枝子( <i>Lespedeza bicolor</i> )
幼林地	0~12	梁	1137~1388	杏树( <i>Prunus armeniaca</i> )

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤水分总体变化特征分析

通过图 1 可以看出, 在雨季前较为干旱的时期内, 由于植被覆盖不同, 致使植被根系分布以及植被蒸腾作用相异, 导致在没有充分水分补给的情况下, 土壤含水量处于净消耗状态, 土地利用状况对每一层土壤含水率都具有显著的影响, 尤其对 0—20, 20—40, 60—80 cm 土壤的含水率影响极为显著; 在雨季中的湿润时期, 土地利用类型只对表层土壤 0—20 cm 和 20—40 cm 具有显著的影响, 对深层土壤影响不显著, 其原因与水分下渗密切相关, 由于处于雨季之中, 降雨只对表层土壤的水分进行补给, 接触不到深层土壤, 并且无法快速渗透到土壤深层, 所以对土壤深层水分含量影响不大。因为不同土地利用类型的地表植被覆盖程度不同, 降雨对土壤水分补给有着显著的影响; 在雨季后半湿润时期内, 由于降雨补给之后, 土壤水分的下渗以及植物的蒸腾作用, 土地利用类型对 0—20, 20—40, 40—60 cm 的土层有极为显著的影响, 对 60—80 cm 和 80—100 cm 的土层有显著的影响。

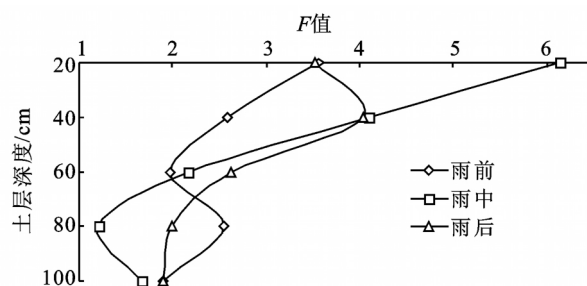


图 1 不同时期土地利用类型对 0—100 cm 剖面土壤水分影响 F 值分布

### 2.2 不同土地利用方式的土壤水分动态变化特征

土壤水分的季节性变化受该地区降雨的强烈影响, 从总体趋势上看, 土壤水分季节性变化与当地气候的季节性变化, 尤其是降雨的季节性变化是一致的<sup>[11]</sup>。对不同时期土地利用类型与土壤含水量的关系进行单因素方差分析, 雨季前、雨季中、雨季后 3 个时期的 F 值分别为 2.587, 4.525, 3.194, 其在 0.05 水平上的显著性分别为 0.019, 0.001, 0.006, 都小于 0.05, 土地利用类型对土壤水分含量的影响极为显著。

从表 2 分析可知, 在这 3 段时期内, 各土地利用类型的土壤水分变化格局相似, 总体趋势都是土壤水

分含量随着时间的推移先增后减,与延河流域一年中的降雨分布基本保持一致。农耕地和撂荒地具有较高的土壤含水率,这是因为农耕地通常地形平坦、且大多居于下坡易于接受更多的上坡径流与壤中流的补充;同时农耕地经过长期耕作其表层疏松,土壤容重较小,可容纳更多的雨水入渗;此外农作物多为浅耕性植被,其蒸发蒸腾作用主要集中在表层,而深层水分很少上升补给<sup>[12]</sup>;撂荒地是经过耕种,肥力下降的并荒废的土地,其土壤物理、化学性质及周围环境因素与农耕地较为相似,所以也含有较高土壤水分。乔木林地、灌木林地和天然草地在雨前雨后土壤含水量较低,经过雨中水分补给之后,土壤水分明显有上升趋势,但由于植物蒸腾作用强烈,在雨后土壤水分含量又快速回落到较低水平。其中以灌木林地最为明显,在雨前雨后含水量与其他土地利用类型相比处于最低水平,主要原因是其多居于上坡且地形坡度较大;同时其表层紧实,土壤容重较大,其雨水入渗小,剖面持水量低,致使其含水量与其他土地利用类型相比始终处于较低的水平<sup>[13]</sup>。根据  $F$  值的检验,在 3 个不同的时期,延河流域的土地利用类型对土壤水分动态含量均有显著的影响。

表 2 不同土地利用类型土壤水分含量 %

利用类型	雨前	雨中	雨后
灌木林地	10.2	13.3	10.0
果园用地	13.1	12.3	12.3
撂荒地	11.3	14.0	11.5
农耕地	12.7	16.7	12.9
乔木林地	11.3	14.2	11.7
天然草地	11.7	13.5	11.1
幼林地	10.5	14.1	11.6
$F$ 值	2.587	4.525	3.194
sig.	0.019**	0.001**	0.006**

注: \* 表示影响显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示影响极其显著 ( $P < 0.01$ )。

2.3 不同土地利用类型的土壤水分剖面变化特征

图 2 为不同土地利用类型在各个时期各层土壤水分含量。从图 2 可以看出,在雨前干旱季节,总体上随着土层加深土壤水分含量增多,呈现递增趋势。其原因是土壤水分由土壤水分损失与降雨补给决定。在表层 0—20 cm 层次范围内,该层土壤水分与其他各层土壤水分差异较大,表层土壤因为各种干旱气候以及日光作用,水分蒸发量最大,并且没有雨水的充分补给,所以致使深层土壤水分含量高于表层土壤水分含量。在雨前干旱状态下,土地利用类型对土壤各个层次的影响都很显著,各个层次以果园用地和农耕地土壤含水量最高,灌木林地土壤含水量最低。其原因与其地表覆盖植被关系密切,果园用地覆盖率小于灌木林地,并且由于灌木林地多处于上坡以及峁顶位置,土壤侵蚀严重,各种气候条件较其他土地利用类型差,由植物蒸腾等作用引起的土壤水分耗散较大,所以果园用地土壤水分含量高于灌木林地。强烈的蒸腾耗水造成灌木林地的各层土壤都显著比其他土地利用类型干旱<sup>[5]</sup>;在雨中湿润季节,每种土地利用类型较雨前土壤含水量都有很大的提高。农耕地、乔木林地、撂荒地和灌木林地都随着土层加深土壤水分含量减小,天然草地、幼林地和果园用地先增后减,属于波动型。其原因由土壤水分的损失和土壤水分的降雨补给决定。降雨对表层土壤的土壤水分含量有极为显著的作用,由于表层土壤比深层土壤更容易得到雨水的净补给,因此表层土壤水分有了明显的增高。其中以农耕地土壤水分含量最高,因为其种植多为玉米、豆子等谷物,叶面覆盖率小,植物蒸腾作用较小,并且表层土壤经过长期耕作之后质地较为疏松,雨水更容易储存和下渗,土壤水分补给最大,所以土壤水分含量最高。

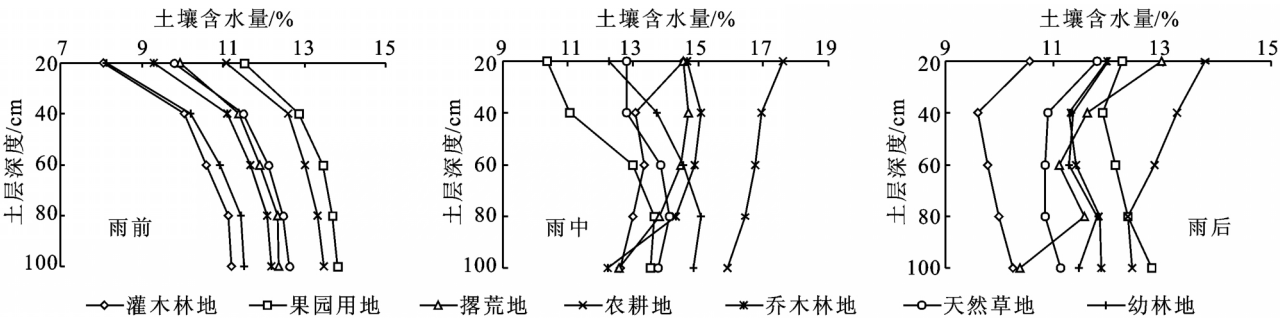


图 2 不同时期不同土地利用类型土壤水分在 0—100 cm 土壤剖面分布

0—100 cm 剖面内,农耕地和果园用地层次土壤水分变最为明显,天然草地和灌木林地次之,撂荒地、乔木林地、幼林地层次土壤水分变化较为平缓;在雨后半湿润季节中,随着土层深度的增加,土壤水分总

体趋势先减后增。与灌木林地、天然草地、乔木林地、幼林地相比,农耕地和果园用地具有较高的层次土壤含水量。撂荒地在 0—100 cm 剖面的层次含水量变化最为明显。表层 0—20 cm 土层比其它各层更容易

得到水分的补给,而中间层次 40—60 cm 土壤水分因植被根系分布的差异,造成水分消耗速度不同而差异显著,深层土壤水分补给小,消耗也小,所以没有表层和中间差异显著。

土壤水分时空变异是由多重尺度上的土地利用(植被)、气象(降雨)、地形、土壤、人为活动等诸因子综合作用的结果,但各个地区都有自己的重点尺度和主控因子,土壤水分时空变异的尺度和影响因子的选择因时间、空间和尺度而异<sup>[12]</sup>。土壤水分的时空变异是地形、植被以及气候等多因子综合作用的结果,土地利用类型只是影响土壤水分含量重要的因素之一。在研究土地利用类型对其影响的同时,还可加入坡度、坡向以及降水等环境因素,从多方面对土壤水分含量进行分析,寻找其主要因素,为该流域水土保持治理提供参考。

### 3 结 论

(1)土地利用类型在水平以及垂直方向,都对土壤水分有显著影响。

(2)在土壤垂直剖面上,各土地利用类型的土壤水分动态变化总体趋势与降雨保持一致。雨季前干旱时期,层次土壤水分含量呈递增型;雨季中湿润期,农耕地、乔木林地、撂荒地和灌木林地都属于递减型,天然草地、幼林地和果园用地属于波动型;雨季后半湿润期,层次土壤水分含量呈先减后增趋势。

(3)不同土地利用类型之间,农耕地含水量最高;其次是天然草地、撂荒地和乔木林地、果园用地和幼林地;含量最低的为灌木林地。

#### 参考文献:

- [1] 王军,傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 84-88.
  - [2] 傅伯杰,陈立项,马克明. 黄土高原小流域土地利用变化对生态环境的影响[J]. 地理学报, 1999, 54(3): 1-8.
  - [3] 马娟霞,肖玲,关帅朋. 黄土高原刺槐林地土壤水分与立地因子关系研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(6): 1311-1314.
  - [4] 朱恒峰,赵文武,康慕谊. 延河流域土地利用格局时空变化与驱动因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(8): 17-20.
  - [5] 邱扬,傅伯杰,王军. 黄土丘陵小流域土壤水分空间异质性及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 715-720.
  - [6] 王红梅,谢应忠,陈来祥. 黄土高原坡地土壤水分动态特征及影响因素[J]. 宁夏农学院学报, 2004, 25(4): 62-65.
  - [7] 李娜,魏永霞. MATLAB 和 SPSS 在对坡耕地土壤水分空间变异性研究中的应用[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(6): 109-113.
  - [8] 刘继龙,马孝义,张振华. 不同土层土壤水分特征曲线的空间变异及其影响因素[J]. 农业机械, 2010, 41(1): 46-49.
  - [9] 焦峰,温仲明,王飞. 黄土丘陵县域尺度整体景观格局分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 167-170.
  - [10] 温仲明,焦峰,赫晓慧. 纸坊沟流域黄土丘陵区土地生产力变化与生态环境改善[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 91-95.
  - [11] 陈佳. 小流域土壤水分时空格局与环境因子的关系[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
  - [12] 邱扬,傅伯杰,王军. 土壤水分时空变异及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2007, 26(1): 100-107.
  - [13] 王康,张仁铎,王富庆. 基于不完全分形理论的土壤水分特征曲线模型[J]. 水利学报, 2004(5): 1-7.
- 
- (上接第 114 页)
- [13] 李怀恩,沈晋,刘玉生. 流域非点源污染模型的建立与应用实例[J]. 环境科学学报, 1997, 17(2): 142-147.
  - [14] 陈利顶,傅伯杰. 农田生态系统管理与非点源污染控制[J]. 环境科学, 2000, 21(2): 98-100.
  - [15] 张兴昌,刘国彬,付会芳. 不同植被覆盖度对流域氮素径流流失的影响[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 16-19.
  - [16] 薛金凤,谢军,马彦涛. 非点源污染预测模型研究进展[J]. 水科学进展, 2002, 13(5): 650-656.
  - [17] 程红光,郝芳华,任希岩,等. 不同降雨条件下非点源污染氮负荷入河系数研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(3): 392-397.
  - [18] 赵忠海. 北京市密云水库北部地区土壤侵蚀情况的遥感调查[J]. 地质灾害与环境保护, 2005, 16(4): 387-390.
  - [19] 吴钦孝,赵鸿雁. 植被保持水土的基本规律和总结[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 13-15.
  - [20] 杨吉华,刘凯生,宫锐,等. 山丘地区森林保持水土效益的研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 47-52.
  - [21] 赖仕樟,吴锡玄,杨玉盛,等. 论森林与水土保持[J]. 福建水土保持, 2001, 13(2): 11-14.
  - [22] 李恒鹏,刘晓玫,杨桂山. 太湖地区西苕溪流域营养盐污染负荷结构分析[J]. 湖泊科学, 2004, 16(增刊 1): 89-98.
  - [23] 中国森林生态服务功能评估项目组. 中国森林生态服务功能评估[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010: 24.