

半干旱黄土丘陵区不同植被类型的土壤水分特征及其稳定性

殷地迟¹, 王立¹, 蔡国军², 莫保儒², 柴春山², 马驰²

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省林业科学研究院, 甘肃 兰州 730020)

摘要: [目的] 研究5种不同植被类型土壤水分动态特征, 为区域内优化配植模式提供理论依据。[方法] 以甘肃省定西市半干旱黄土丘陵区5种典型的植被类型为研究对象, 使用土壤水分速测仪对2017、2018年0—200 cm土层土壤含水量进行观测, 并对不同植被类型土壤水分特征及其稳定性进行分析。[结果] ①不同植被类型土壤水分呈现出: 山杏×侧柏混交林地(11.24%) > 退耕苜蓿草地(10.97%) > 自然荒地(10.66%) > 退耕林地(9.99%) > 柠条林地(9.55%)。②5种植被类型在0—200 cm土层依据有序聚类法可分为动态变化层(0—40 cm), 利用层(40—100 cm)和弱利用层(100—200 cm)3个层次。在动态变化层(0—40 cm), 土壤水分呈现出: 自然荒地(14.23%)最高, 柠条林地(11.04%)最低; 在利用层(40—100 cm): 退耕苜蓿草地(12.16%)最高, 柠条林地(9.15%)最低; 在弱利用层(100—200 cm): 自然荒地(10.81%)最高, 退耕林地(8.61%)最低。③不同植被类型土壤水分土层稳定性(变异系数)呈现出: 退耕林地(19.9%) < 山杏×侧柏混交林地(21.3%) < 自然荒地(21.9%) < 退耕苜蓿草地(22.6%) < 柠条林地(23.6%)。④不同植被类型土壤水分时间稳定性(变异系数)呈现出: 自然荒地(25%) < 退耕林地(25.2%) < 山杏×侧柏混交林地(26.5%) < 柠条林地(27.1%) < 退耕苜蓿草地(31.9%)。[结论] 柠条林地土壤水分含量最低, 在土层和时间上不稳定, 山杏×侧柏混交林地较其他植被类型土壤水分含量更高, 更具有稳定性。

关键词: 黄土丘陵区; 土壤水分; 植被类型; 稳定性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)01-0065-07

中图分类号: S157.2, S152.7

文献参数: 殷地迟, 王立, 蔡国军, 等. 半干旱黄土丘陵区不同植被类型的土壤水分特征及其稳定性[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 65-71. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.01.010; Yin Dichi, Wang Li, Cai Guojun, et al. Soil moisture characteristics and stability of different vegetation types in semi-arid loess hilly region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 65-71.

Soil Moisture Characteristics and Stability of Different Vegetation Types in Semi-arid Loess Hilly Region

Yin Dichi¹, Wang Li¹, Cai Guojun², Mo Baoru², Chai Chunshan², Ma Chi²

(1. College of Forestry, Gansu Agriculture University, Lanzhou,

Gansu 730070, China; 2. Gansu Forestry Academy, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: [Objective] The dynamic characteristics of soil moisture of five different vegetation types were studied to provide a theoretical basis for optimizing plantation mode. [Methods] Five typical vegetation types from the semi-arid loess hilly region of Dingxi City, Gansu Province, were selected. The soil moisture content of the soil layer from 0 to 200 cm in depth was observed in 2017 and 2018 using a soil moisture tachometer. The characteristics and stability of soil moisture of different vegetation types were analyzed. [Results] ① The soil moisture content of different vegetation types was: mixed forest of *Armeniaca sibirica* and *Platycladus orientalis* (11.24%) > *Medicago sativa* grassland (10.97%) > natural grassland (10.66%) > returning farmland (9.99%) > *Caragana korshinskii* forest (9.55%). ② According to the orderly clustering method,

收稿日期: 2019-07-26

修回日期: 2019-10-10

资助项目: 国家重点研发计划项目“宽梁缓坡丘陵区人工灌草稳定性维持与功能提升技术和示范”(2017YFC0504603)

第一作者: 殷地迟(1996—), 男(汉族), 江苏省沭阳县人, 硕士研究生, 研究方向为土壤学。Email: 1208832597@qq.com。

通讯作者: 王立(1963—), 男(汉族), 甘肃省甘谷县人, 博士, 副教授, 研究生导师, 主要从事水土保持、荒漠化防治方面研究。Email: wangli@gsau.edu.cn。

the 0—200 cm soil layer of the five vegetation types could be divided into three sublayers: dynamic change layer (0—40 cm), utilization layer (40—100 cm), and weak utilization layer (100—200 cm). In the dynamic change layer (0—40 cm), the soil moisture content was the highest in the natural grassland (14.23%) and lowest in the *C. korshinskii* forest (11.04%); In the utilization layer (40—100 cm), the soil water content was the highest in the *M. sativa* grassland (12.16%) and lowest in the *C. korshinskii* forest (9.15%); In the weak utilization layer (100—200 cm), the soil water content was the highest in the natural grassland (10.81%) and lowest in the returning farmland (8.61%). ③ The layer stability of soil moisture (coefficient of variation) in the different vegetation types was: returning farmland (19.9%) < mixed forest of *A. sibirica* and *P. orientalis* (21.3%) < natural grassland (21.9%) < *M. sativa* grassland (22.6%) < *C. korshinskii* forest (23.6%). ④ The temporal stability of soil moisture (coefficient of variation) in the different vegetation types was: natural grassland (25%) < returning farmland (25.2%) < mixed forest of *A. sibirica* and *P. orientalis* (26.5%) < *C. korshinskii* forest (27.1%) < *M. sativa* grassland (31.9%). [Conclusion] In the semi-arid loess hilly region, the soil moisture content was the lowest in the *C. korshinskii* forest. This vegetation type also had the most unstable layer and temporal stability. The soil moisture content in mixed forest of *A. sibirica* and *P. orientalis* was higher and more stable than other vegetation types.

Keywords: loess hilly area; soil moisture; vegetation types; stability

土壤水分是陆地生态系统重要的驱动力,尤其是干旱、半干旱地区^[1],土壤水分成为黄土丘陵区植被恢复与重建的重要限制因子^[2]。在该地区,土壤水分补给形式较为单一,大部分地区只能通过降水来进行土壤水分的补充,但是雨季水分的年度蒸发量也达到全年较高的水平,使得土壤水分下渗层很难超出土壤水分蒸发层^[3],从而导致深层土壤水分相对亏缺,造成生态恢复难以可持续发展。因此,如何利用好土壤水分变得尤为重要,尤其对黄土丘陵区水分消耗较大的人工林。穆兴民等^[4]认为不合理的人工配置模式使得天然降雨无法满足植被对土壤水分的消耗,导致各人工林均出现不同程度的土壤水分亏缺现象。李细元等^[5]认为人工灌丛或林地 0—200 cm 以下的土层水分,降雨很难补偿。由于深层的土壤水分不能靠自然降水来达到水分的补给,因此,研究 0—200 cm 水分的利用变得更为重要。本文通过研究不同植被类型下 0—200 cm 深度的土壤水分特征和稳定性,探讨不同植被在相同时间和相同垂直剖面上的生长现状、规律以及差异性,旨在为植被生长稳定性、有效造林、经济造林提供参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

该研究区位于甘肃省定西市岷口镇龙滩流域,地理坐标为 104°27′—104°32′E, 35°43′—35°46′N,属半干旱黄土丘陵区。流域面积 16.1 km²,平均海拔 1 967~2 168 m,年平均气温 6.8 ℃,年均降水量 386.3 mm,平均无霜期 152 d,平均日照时数 2 052 h。春冬季降水量较少,降雨主要集中在 7—9 月份(见表 1),多为暴雨形式,潜在蒸发量 1 649.0 mm,年平均相对湿度 72%,干燥度 1.9。

流域土质均一,土壤以黄绵土为主,有机质含量低,土壤贫瘠。流域属于典型草原地带,天然植被以多年生草本为主,主要植物种类有长芒草(*Stipa bungeana*)、赖草(*Leymus secalinus*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)等,人工植被以侧柏(*Platycladus orientalis*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、山毛桃(*Amygdalus davidiana*)、山杏(*Armeniaca sibirica*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)等植物为主。

表 1 甘肃定西龙滩流域 2015—2018 年降水量

mm

年份	各月份降水量												合计
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
2015	5.7	8.2	20.1	6.4	67.6	51.5	105.3	25.2	41.8	35.6	29.3	3.1	399.8
2016	0.9	5.1	4.1	32.4	74.5	27.4	51.2	19.3	18	39.9	0.1	0.5	273.4
2017	1.2	7.4	33	7.7	47.9	71.9	21.9	148	32.6	33.8	0	0.2	405.5
2018	0	6	3.2	1	12.4	49.8	152.6	119	58.8	4	8	9	423.8

1.2 研究方法

在研究区选取 5 块典型样地(人工混交林、人工纯林、人工灌草、人工草地、自然荒草地),样地植被类型为:山杏×侧柏混交林地、柠条林地、退耕林地(山毛桃和紫花苜蓿灌草混种)、退耕苜蓿草地和自然荒地。样地坡度在 $14^{\circ}\sim 32^{\circ}$ 之间,土壤类型均为黄绵土。因此,在分析结果时,可以忽略土壤的影响。采

用 Trime-FM 剖面土壤水分速测仪测定土壤含水量。2017—2018 年对上述五块样地进行土壤水分测定,测定深度为 200 cm,每 20 cm 一个测层,每 15 d 测定一次,重复 3 次,取其平均值作为该测层的容积土壤含水量(%)。样地采用 GPS 定位,并记录坡度、坡向、林龄、树高、冠幅、草本层盖度等样地信息(详见表 2)。

表 2 甘肃省定西市龙滩流域样地基本信息

样地	海拔/ m	坡度/ ($^{\circ}$)	坡向/ ($^{\circ}$)	林龄/ a	树高/ m	冠幅/ m^2	草本层 盖度/%	乔木层 盖度/%
柠条林地	2021	32	S	37	1.34	3.36	21	46.58
退耕林地	2079	26	288	13	2.67	2.65	45	5
山杏×侧柏混交林地	2072	20	90	54	2.81	2.13	80	30
退耕苜蓿草地	2132	14	196				95	
自然荒地	2128	23	S				90	

1.3 数据处理

应用 Excel 2010, DPS 9.01 和 SPSS 22.0 进行统计并分析数据。运用单因素方差分析、Duncan 多重比较(最小显著性差异, $p < 0.05$) 和有序聚类法,分析不同植被类型土壤水分特征和稳定性。用 p 值对单因素方差分析进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同植被类型下土壤水分的时间动态

2.1.1 不同年份土壤水分变化 如图 1 所示,分析 5 种植被类型 0—200 cm 土层土壤平均含水量年度动态变化及其差异性可知,2017,2018 年不同植被类型土壤平均含水量呈现:山杏×侧柏混交林地(11.24%) > 退耕苜蓿草地(10.97%) > 自然荒地(10.66%) > 退耕林地(9.99%) > 柠条林地(9.55%)。

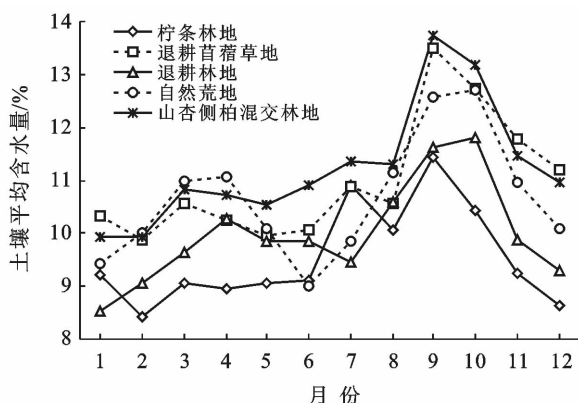


图 1 黄土丘陵区 5 种典型植被类型年度土壤平均含水量

山杏×侧柏混交林地土壤含水量高于自然荒地,且此混交林两年的平均含水量均高于柠条林地、退耕

林地和退耕苜蓿草地,说明混交林地相对于柠条纯林、退耕林地和退耕苜蓿草地来说更具有稳定性^[6]。由表 2 也可知,山杏×侧柏混交林地由于林龄较长,有 54 a,其根系以及植被用水已经达到了一个稳定趋减的趋势,而退耕林地、柠条林地已处于成熟期,故用水量较大,所以土壤含水量低。

2016 年降水量为 273.4 mm(见表 1),远低于该地区近 4 年平均降水量 375.6 mm,导致 2017 年土壤蓄水量较低。2017,2018 年降水较往年充足,降水量分别为 405,423 mm,均高于年均降水量,属丰水年。研究 2017,2018 年土壤水分动态变化特征,将为丰水年土壤水分动态变化提供依据。

2017,2018 年 3—6 月降水呈上升趋势,但是植被耗水量以及土壤水分的强烈蒸发量要远远超出降雨对土壤水分的补给量,这一阶段将处于土壤水分消耗量相对较大的时期,这一结果与李永平等^[7]的研究相一致。Yu Bowei 等^[8]对半干旱黄土高原 0—200 cm 以上的浅层研究发现,夏季土壤水分明显低于春季和秋季。从图 2 看,除了自然荒地土壤水分明显低于春季和秋季,其他植被类型夏季土壤水分却与春季相近,这与 Yu Bowei 等研究的结论不符,这可能与 2016 年降水量和植被生长特性有关。

2017,2018 年降水集中在 7—9 月,2017,2018 年 8 月份降水量均超过 100 mm。受降雨时间分布的影响,不同的植被类型下的土壤水分呈现出不规则的变化,但都表现出一定的滞后性^[9],这也是雨季后土壤水分上升的重要原因。通过比较不同植被类型年度土壤平均含水量可知(见图 1),这 5 种植被类型随时间的波动性很大,这种波动性是由降水量、蒸发量和

植被对土壤水分的下渗和利用程度等因素共同作用的结果^[10]。总的来说,本研究也符合 1—2 月稳定,3—6 月消耗,7—9 月增加,10—12 月减少^[11]的研究结论。

2.1.2 不同月份土壤水分变化 如图 2a 所示,同时结合 2017,2018 年降水量、蒸发量来看,2017,2018 年 1—2 月,降水量小于 10 mm,由于植被处于休眠期,故 0—200 cm 土层土壤水分相对平稳。退耕苜蓿草地的土壤水分随土层深度增加而降低,且退耕苜蓿草地的土壤水分在土层 40—100 cm 处波动幅度较大,这可能与苜蓿深层根系多年耗水和其持水性能有关^[12-14]。

如图 2b 所示,2017,2018 年 3—6 月,3 月份降水量逐渐增多,浅层土壤水分有明显的上升趋势,自然荒地增长趋势最为明显。随着降水量、蒸发量在逐渐增加,植被也由休眠期过渡到生长初期,耗水量明显加强,40—100 cm 土层土壤水分便开始出现下降趋

势。此时,土壤水分随着土层深度增加而降低,而柠条林地土壤水分则呈现出较为稳定的状态。

如图 2c 所示,2017,2018 年 7—9 月,降水量达到全年的最大值,植被也进入旺盛生长期,自然荒地浅层土壤水分明显高于其他植被类型。降雨量的迅速增加促使浅层土壤水分上升,同时随着植被的迅速生长、温度的升高以及土壤的蒸发能力迅速加强,植被的耗水量、土壤水分的蒸发量加剧,导致 0—100 cm 土层土壤水分大量消耗。

如图 2d 所示,2017,2018 年 10—12 月,植被处于生长季后期,浅层土壤水分差距拉大,变化剧烈,规律不明显,这可能与各植被类型间根系分布的情况有关。柠条林地中层土壤水分与其他植被类型相差较大,这可能与柠条林地的林龄有着一定的关系。这与梁海滨等^[15]的研究结果相一致。尽管浅层各植被类型间土壤水分变化显著,但深层土壤水分却趋于稳定,土壤水分差异减小。

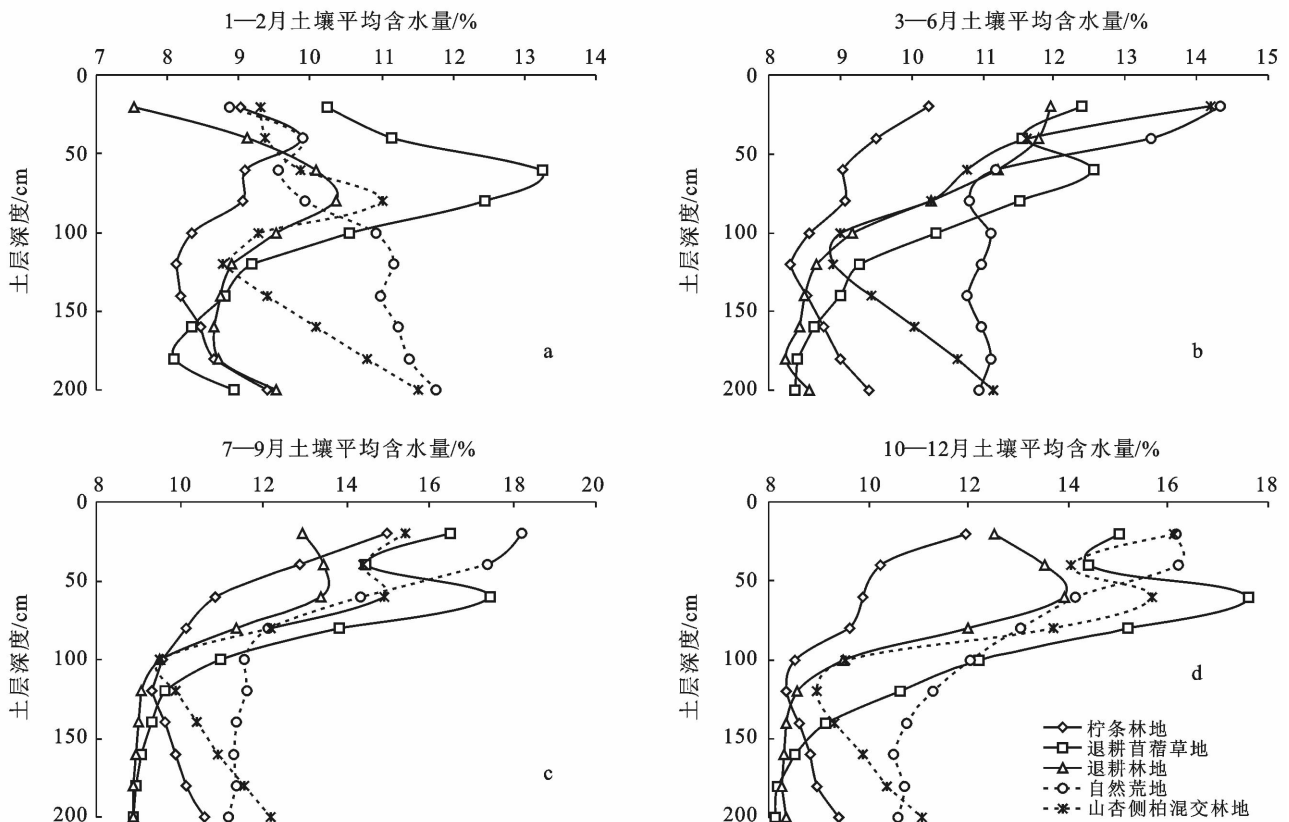


图 2 黄土丘陵区 5 种典型植被类型 1—12 月土层土壤平均含水量

2.2 不同植被类型下土壤水分的垂直分布动态

本文基于黄土丘陵区不同植被类型土壤水分土层变异系数和标准差为分层指标^[16],以自然荒地分层作为基础来研究不同植被类型对土壤水分垂直分布的影响。由于在实际划分过程中,变异系数和标准

差不能同时满足分级标准,故使用有序聚类法对土层土壤水分划分界限,以土层深度为土壤水分的排序轴,按照土壤水分含量进行聚类,聚类的结果仍然保持深度上的排序^[17-18]。通过上述方法对 5 种植被类型 0—200 cm 的土层进行分层,确定最优聚类数为 3。

因为不同植被类型的分层结果不相同,所以其他植被类型的分层根据自然荒地(对试样地)的分层结果,将土层分为 3 层:浅层(0—40 cm)、中层(40—100 cm)和深层(100—200 cm)。

如图 3 所示,在黄土丘陵区 5 种植被类型下,2017,2018 年不同植被类型土壤平均含水量呈现:山杏×侧柏混交林地(11.24%)>退耕苜蓿草地(10.97%)>自然荒地(10.66%)>退耕林地(9.99%)>柠条林地(9.55%)。退耕林地 0—40 cm 土层土壤水分呈现上升趋势,与其他植被类型变化趋势相反,这可能与退耕林地中的苜蓿退化后生物量较大有关。在 40—100 cm 土层,不同植被类型的土壤水分差异较大,退耕苜蓿草地 40—100 cm 土层土壤水分呈现先增后减的趋势,与其他植被类型的变化趋势不同,且变化幅度较大。在同一种植被类型下,100 cm 以下的土层土壤水分含量较为稳定。2017,2018 年山杏×侧柏混交林地(11.24%)与柠条林地(9.55%)土壤水分含量相差较大,2017,2018 年土壤水分均有所增加,且退耕苜蓿草地增加幅度大于柠条林地。

浅层(0—40 cm)土壤水分动态变化性大,本文称浅层为动态变化层。在动态变化层(0—40 cm)上,如图 4a 所示,2017,2018 年不同植被类型动态变化层土壤水分波动较大,五种植被类型土壤水分的变化趋势大致相同,但是柠条林地土壤水分明显低于同时期其他植被类型。2017,2018 年初期,由于受植被生长、降水、蒸发量的影响较弱,动态变化层土壤水分蓄水、持水上升,随着雨季到来,动态变化层土壤水分得到大量补偿,土壤水分呈现急速上升趋势^[19]。2017,2018 年后期,降水量下降,动态变化层土壤水分补给来源缺失,导致水分迅速下降,尽管土壤蒸发能力减弱,但土壤水分仍呈现下降趋势。

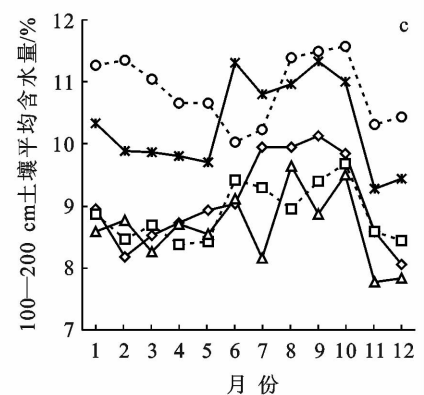
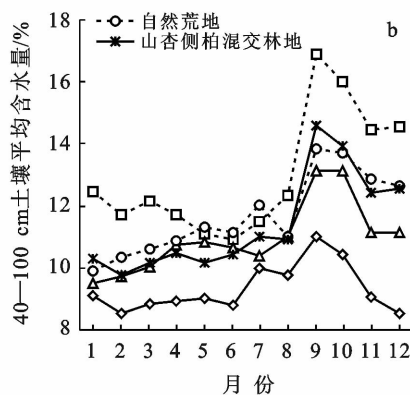
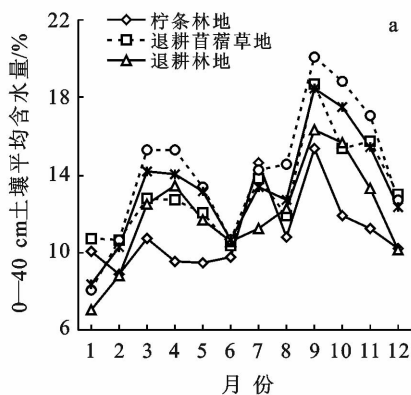


图 4 黄土丘陵区 5 种典型植被类型 0—200 cm 时间土壤平均含水量

2.2.1 不同植被类型下土壤水分的土层稳定性 表 3 为 2017,2018 年黄土丘陵区 5 种典型植被类型土壤

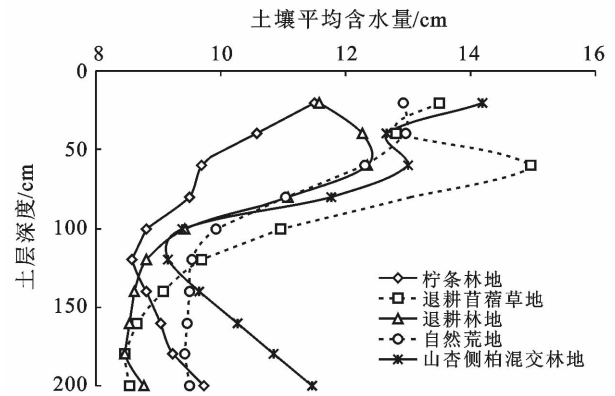


图 3 黄土丘陵区 5 种典型植被类型垂直分布土壤平均含水量

中层(40—100 cm)土壤水分植被根系生长消耗量大,本文称中层为利用层。在利用层(40—100 cm)上,如图 4b 所示,2017,2018 年 1—5 月利用层土壤水分较低且稳定,这可能与 2016 年的降水、植被生长有关。柠条林地在利用层水分消耗最大,且土壤水分一直呈现下降趋势,这可能与柠条林地利用层季节性耗水有关。自然荒地由于春冬季植被更替,进而显现出较为稳定的趋势,对水分消耗较少。在夏秋季,五种植被类型利用层土壤水分都呈现出先减少、后增加、再减少的过程^[20]。

深层(100—200 cm)土壤水分变化幅度不显著,本文称深层为弱利用层。在弱利用层(100—200 cm)上,如图 4c 所示,5 种植被类型的土壤水分含量较为接近,土壤水分变化趋势也大致相同,在季节上呈现相对稳定的状态。2017,2018 年前期,自然荒地土壤水分含量最高,山杏×侧柏混交林地次之;到植被生长旺期,山杏×侧柏混交林地土壤水分最高,并持续到植被生长后期,这对研究山杏×侧柏混交林地生长季土壤水分动态变化有参考作用。

水分土层变异系数。由表 3 可见,2017,2018 年各土层土壤水分变异系数大小顺序为:退耕林地(0.199)

<山杏×侧柏混交林地(0.213)<自然荒地(0.219)
<退耕苜蓿草地(0.226)<柠条林地(0.236)。

在 0—40 cm 深度的土层,土壤水分的土层变异系数增大,土层稳定性减弱,这主要由于浅层的土壤水分受降水、温度、蒸发等因子的影响较大,水分

变化剧烈^[21];在 40—100 cm 深度的土层,土层变异系数相对较大,这主要是由于植被的根系耗水引起土壤水分有较大波动;在 100—200 cm 深度的土层,土层的变异系数趋于低值,土壤水分土层稳定性增强^[22]。

表 3 黄土丘陵区 5 种典型植被类型土壤水分土层变异系数 C_v

植被类型	各土层土壤水分变异系数 C_v										均值/ %
	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	120 cm	140 cm	160 cm	180 cm	200 cm	
柠条林地	0.43	0.41	0.31	0.23	0.20	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.236
退耕苜蓿草地	0.36	0.33	0.31	0.29	0.23	0.20	0.12	0.14	0.14	0.16	0.226
退耕林地	0.31	0.24	0.24	0.23	0.19	0.16	0.15	0.15	0.15	0.17	0.199
自然荒地	0.34	0.28	0.31	0.28	0.19	0.15	0.13	0.14	0.17	0.19	0.219
山杏×侧柏混交林地	0.32	0.29	0.33	0.26	0.18	0.17	0.16	0.14	0.13	0.14	0.213

2.2.2 不同植被类型下土壤水分的时间稳定性 表 4 为 2017,2018 年黄土丘陵区 5 种典型植被类型土壤水分时间变异系数。由表 4 可见,2017,2018 年各月份土壤水分变异系数大小顺序为:自然荒地(0.250)<退耕林地(0.252)<山杏×侧柏混交林地(0.265)<柠条林地(0.271)<退耕苜蓿草地(0.319)。1—2 月,自然荒地变异系数较低;3—9 月,时间变异系数减小后上升;

10—12 月,受时间和外界环境影响,不同植被类型所反映出的变化规律不相同,退耕苜蓿草地变异系数最高且变化程度最为明显。结合 2 a 时间变异系数表来看,退耕林地相对于其他 4 种植被类型时间变异更为稳定。尽管降水是影响时空变异性的的重要因素,但植被类型仍是影响土壤水分空间变异性的主导因素,这与 Yao Xueling 等^[23]研究结果相一致。

表 4 黄土丘陵区 5 种典型植被类型土壤水分时间变异系数 C_v

植被类型	各月份土壤水分变异系数 C_v												均值/ %
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
柠条林地	0.25	0.32	0.30	0.23	0.21	0.28	0.33	0.22	0.30	0.24	0.28	0.29	0.271
退耕苜蓿草地	0.32	0.31	0.32	0.29	0.26	0.14	0.32	0.37	0.43	0.33	0.39	0.36	0.319
退耕林地	0.29	0.21	0.29	0.29	0.24	0.19	0.19	0.17	0.32	0.26	0.30	0.27	0.252
自然荒地	0.25	0.20	0.29	0.28	0.31	0.17	0.24	0.19	0.30	0.27	0.28	0.21	0.250
山杏×侧柏混交林地	0.29	0.27	0.31	0.34	0.28	0.12	0.21	0.26	0.29	0.27	0.30	0.26	0.265

3 结论

(1) 从不同植被类型土壤水分的时间动态来看,2017,2018 年,不同植被类型土壤水分呈现出:山杏×侧柏混交林地>退耕苜蓿草地>自然荒地>退耕林地>柠条林地。这说明,山杏×侧柏混交林地、退耕苜蓿草地最接近自然荒地,说明混交林、退耕苜蓿草地对土壤水分消耗的程度较小,而柠条林地、退耕林地土壤含水量低于自然荒地,表明了此类植被在其达到完全郁闭或覆盖时,会使土壤水分处于过度消耗状态^[22]。

(2) 从不同植被类型土壤水分的垂直空间动态来看,0—200 cm 深度土壤水分存在波动情况,有分层差异,且各植被类型间存在明显差异。在浅层(0—40 cm),柠条林地、退耕林地土壤水分含量较低,退耕苜蓿草地、山杏×侧柏混交林地、自然荒地土壤水分

含量较高;在中层(40—100 cm),柠条林地、退耕林地仍处于水分较低状态,自然荒地土壤水分含量最高;在深层(100—200 cm),山杏×侧柏混交林地土壤水分含量逐渐提高并在生长旺期超过自然荒地,达到最高。垂直剖面上土壤水分的差异,给今后科学建植提供依据,结论可促进研究区内最适宜植被类型的提出,指导半干旱区植被建设、恢复。

(3) 从不同植被类型土壤水分土层稳定性可以得出:退耕林地<山杏×侧柏混交林地<自然荒地<退耕苜蓿草地<柠条林地。2017,2018 年 0—200 cm 不同植被类型深度土壤水分土层变异系数呈现不同结果,这可能与植被根系分布和降水量的增加趋势相一致。从不同植被类型土壤水分时间稳定性可以得出:自然荒地<退耕林地<山杏×侧柏混交林地<柠条林地<退耕苜蓿草地。柠条林地随时间变化相对稳定,退耕苜蓿草地随时间变化最为强烈,其他植被

类型 2017,2018 年变化规律不显著。短时间内,不同植被类型的土层和时间土壤水分变化规律尚不稳定,仍需继续监测各植被类型的土壤水分,为该地区植被稳定性提供指导意见。

[参 考 文 献]

- [1] 杨磊,卫伟,陈利顶,等.半干旱黄土丘陵区人工植被深层土壤干化效应[J].地理研究,2012,31(1):71-81.
- [2] 黄肖勇,李生宝.半干旱黄土丘陵区土壤水分动态变化研究综述[J].农业科学研究,2009,30(3):69-72.
- [3] 宁婷,郭忠升.半干旱黄土丘陵区撂荒坡地土壤水分循环特征[J].生态学报,2015,35(15):5168-5174.
- [4] 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.
- [5] 李细元,陈国良.人工草地土壤水系统动力学模型与过耗恢复预测[J].水土保持研究,1996,3(1):166-178.
- [6] 马驰,柴春山,薛睿,等.半干旱黄土区不同植被类型土壤水分时序变化差异性研究[C]//2018 中国草学会年会论文集.成都,2018:219-226.
- [7] 李永平,兰占恩.半干旱黄土区土壤水分运动规律研究[J].宁夏农业科技,1985,26(3):2-5.
- [8] Yu Bowei, Liu Gaohuan, Liu Qingsheng, et al. Seasonal variation of deep soil moisture under different land uses on the semi-arid Loess Plateau of China[J]. Journal of Soils and Sediments, 2019,19(3):1179-1189.
- [9] 罗长寿,魏朝富,李瑞雪.时序模型在四川盆地土壤水分动态预报中的应用[J].西南农业大学学报,2002,24(5):464-466.
- [10] 徐志尧,张钦弟,杨磊.半干旱黄土丘陵区土壤水分生长季动态分析[J].干旱区资源与环境,2018,32(3):145-151.
- [11] 赵磊磊,朱清科,聂立水,等.陕北黄土区陡坡土壤水分变异规律研究[J].生态环境学报,2012,21(2):253-259.
- [12] 刘青柏,刘明国,王玉涛,等.不同林型立地土壤水分性状及其持水能力的比较[J].干旱区研究,2011,28(5):775-779.
- [13] 杨永辉,赵世伟,刘娜娜,等.宁南黄土丘陵区不同植被措施的土壤水分特征[J].中国水土保持科学,2006,4(2):24-28.
- [14] 武鹏艳.兰州南山 4 种人工林枯落物持水性能及土壤水文效应的研究[D].兰州:甘肃农业大学,2016.
- [15] 梁海斌,史建伟,李宗善,等.晋西北黄土丘陵区不同林龄柠条林地土壤干化效应[J].水土保持研究,2018,25(2):87-93.
- [16] 陈洪松,邵明安,王克林.黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J].应用生态学报,2005,16(10):1853-1857.
- [17] 李俊,毕华兴,李笑吟,等.有序聚类法在土壤水分垂直分层中的应用[J].北京林业大学学报,2007,29(1):98-101.
- [18] 王信增,焦峰.基于有序聚类法的土壤水分剖面划分[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(2):191-196,201.
- [19] 易亮,李凯荣,张冠华,等.黄土高原人工林地土壤水分亏缺研究[J].西北林学院学报,2009,24(5):5-9,49.
- [20] 何其华,何永华,包维楷.干旱半干旱区山地土壤水分动态变化[J].山地学报,2003,21(2):149-156.
- [21] 贾小旭.典型黄土区土壤水分布及其对草地生态系统碳过程的影响[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [22] 赵传普,徐学选,高朝侠,等.黄土丘陵区不同植被类型下土壤水分动态[J].水土保持通报,2015,35(1):68-72.
- [23] Yao Xueling, Fu Bojie, Lü Y, et al. The multi-scale spatial variance of soil moisture in the semi-arid Loess Plateau of China[J]. Journal of Soils and Sediments, 2012,12(5):694-703.
- [24] 何其华,何永华,包维楷.干旱半干旱区山地土壤水分动态变化[J].山地学报,2003,21(2):149-156.
- [25] 张洁,曹小娟,谢志远,等.不同补充灌溉量对亚高温下辣椒幼苗质量影响的研究[J].灌溉排水学报,2014,33(1):90-92.
- [26] 郭永青,李建明,邹志荣,等.不同补充灌溉量对番茄幼苗生长的影响[J].西北农业学报,2010,19(4):169-172.
- [27] 包含,侯立柱,刘江涛,等.室内模拟降雨条件下土壤水分入渗及再分布试验[J].农业工程学报,2011,27(7):70-75.
- [28] 王青杵,王改玲,石生新,等.晋北黄土丘陵区不同人工植被对水土流失和土壤水分含量的影响[J].水土保持学报,2012,26(2):71-74,79.
- [29] 江才伦,彭良志,付行政,等.三峡库区柑橘园不同土壤管理方式对土壤温度的影响[J].果树学报,2014,31(3):401-409.
- [30] 单小琴.季节性冻融期不同水肥及覆盖下土壤水热动态变化规律的试验研究[D].山西:太原理工大学,2018.

(上接第 64 页)