

降水增加对黄土高原深层土壤水分的影响

岩晓莹¹, 马理辉^{1,2*}, 刘 铮¹, 柯增鸣², 李娟娟¹, 杨金贵¹, 胡宇美³

(1.西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100

3.中国科学院大学现代农业与科学学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为了解降水增加情况下,黄土高原土壤储水量是否增加以及深层土壤水分的变化趋势,2018 年对陕西省绥德境内的油松林和柠条林土壤水分进行了测定,并将其与 2001 年和 2006 年的同一样地土壤水分数据进行对比分析,结果表明:研究区近 20 年降水量呈增加趋势,2009 ~ 2018 年该区域年平均降水量比 1999 ~ 2008 年的平均降水量增加了 156 mm。油松和柠条林地深层土壤水分呈波浪形变化,且深层土壤总储水量呈现 2018 年 > 2001 年 > 2006 年,这种变化与 1999 ~ 2018 年降水变化趋势相一致。深层土壤储水量年际变化与植被类型有关,即油松林地深层土壤水分年际变化显著,柠条林则不显著。短时间尺度内(< 6 年)的降水对深层土壤储水量有影响,影响深度大约为 0 ~ 5.0 m,长时间尺度(> 5 年)的降水对深层土壤储水量的影响深度会随时间加深,并且长时间尺度的降水可能会导致土壤水分“高湿层”下移现象出现。

关键词:降水变化;黄土高原;深层土壤水分;土壤储水量;年际变化

中图分类号:S152.7 **文献标识码:**A **文章编号:**0564-3945(2020)03-0614-07

DOI:10.19336/j.cnki.trtb.2020.03.15

岩晓莹, 马理辉, 刘 铮, 柯增鸣, 李娟娟, 杨金贵, 胡宇美. 降水增加对黄土高原深层土壤水分的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(3): 614-620

YAN Xiao-ying, MA Li-hui, LIU Zheng, KE Zeng-ming, LI Juan-juan, YANG Jin-gui, HU Yu-mei. Effect of Precipitation Increase on Deep Soil Water Content in the Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2020, 51(3): 614-620

黄土高原地区属于大陆性季风气候^[1],作为季风影响的末端,该区对东南亚季风的变化非常敏感,特别是该区域的降水变化^[2]。黄土高原地区年降水量整体呈减少趋势,但在 2000 年之后略有回升^[3],且自东南向西北,气候渐趋干燥、降水逐渐减少,土壤持水性能渐次降低、蒸发性能渐趋增高、稳定湿度逐渐减小、深层储水渐次降低^[4,5]。近 10 年来,黄土高原区域降水明显发生了变化,突出表现在年均降水量增加、出现极端暴雨事件,如 2017 年 7 月 26 日绥德县的大暴雨。长期以来,制约黄土高原地区植被恢复与重建的关键性因子是水分^[6,7],降水则成为该区土壤水分补给的主要来源^[8]。目前黄土高原林地浅层(0.4 ~ 2.8 m)土壤湿度随雨季降水补给和林木生长消耗而发生明显变化,但雨季降水补给量又很快被树木生长消耗,难以实际入渗到林地深厚的土壤干层,深层干燥化土壤难以得到降水补充,土壤湿度长期维持干燥化状态,深层土壤发生干燥化后并不能自动恢复到最初的土壤湿度状态。只有当树木砍伐或死亡后停止高强度耗水作用,经过连续多年降水入渗补充,上部土壤干

层土壤湿度才会逐步得到恢复,但下部土壤干层土壤湿度恢复速度缓慢,完全恢复需要的时间漫长^[9]。黄土高原干旱半干旱区土壤水分的年际变化主要受当年降雨量多少的直接影响,基本与降雨量的年际分布是一致的^[10],且同一年份不同植被的土壤水分变化有明显的相似性,不同年份的同一植被土壤水分差异明显^[11],也有一些研究学者认为,降水和植被对土壤含水量时空变化特征具有明显的影响,并且降水量是决定土壤水分含量最重要的因子^[12]。很多研究认为不仅降水对土壤水分有影响,环境因素和土壤性质的不均匀性也会使土壤水分随土壤深度的变化而变化^[13],在土壤垂直剖面上,受干湿季的影响,0 ~ 2.0 m 土层处于水分消耗和降雨补充的干湿交替过程中,这种影响随着深度的增加而减弱,2.0 m 以下土层含水量的变化幅度较小^[14]。黄土高原深厚的黄土覆盖为雨水转化为土壤水创造了得天独厚的条件,因而具有类似水库的功能,可蓄积降水、长期保存、调节洪枯、持续供应植物^[15],鉴于深层土壤水分对干旱半干旱区植被重建生态恢复的作用巨大,有必要掌握长时间尺度降水增加情况

收稿日期:2019-08-30;修订日期:2020-01-13

基金项目:国家自然科学基金(41671510)和陕西省科技统筹创新工程计划项目(2016KTCL02-04)资助

作者简介:岩晓莹(1994-),甘肃张掖人,硕士,主要研究方向为农业水土资源利用与保护。E-mail: zwpyxy@163.com

* 通讯作者: E-mail: gjzmlh@126.com

下,黄土高原深层土壤水分状况及其变化趋势等问题,为区域植被恢复和土壤资源的合理利用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省绥德县辛店沟(110°16'45"~110°20'00" E, 37°29'00"~37°31'00" N),沟内地表支离破碎、梁峁起伏、沟壑纵横,坡陡沟深,海拔 840~1040 m,属于黄土梁峁丘陵沟壑区,研究区属于大陆性温带半干旱季风气候,降水年际变化大,1999~2018 年平均降雨量为 445.79 mm,最大为 733.7 mm(2013 年),最小为 277.6 mm(2000 年),且降水时间分配极不均匀,7~9 月降水占全年降水总量的 64.4%,多以暴雨形式出现,历时短、强度大。年平均气温 9.7 °C,年平均蒸发量 2069 mm,无霜期 165 天。区内土壤以黄绵土为主,坡中部浅层黄绵土土质较为疏松,大孔隙,下渗性强,持水量低,4.0~7.0 m 土壤剖面内土壤逐渐干燥,7.0 m 以下土壤剖面内土质也较为疏松且土壤水分有所增加。土壤容重为 1.30 g cm⁻³[16]。近几年土壤性质测定园区内耕作层土壤养分:有机质 4.35%~7.40%,全氮 0.32~0.520 mg kg⁻¹,碱解氮 17.64~33.45 mg kg⁻¹,速效磷 1.50~10.73 mg kg⁻¹,速效钾 71.85~151.20 mg kg⁻¹,土壤 PH 值 7.1~8.2 之间,属微碱性。生长的天然植被主要有长芒草(*Stipabungeana*)、铁杆蒿(*Artemisiagmelini*)、芨蒿

(*Artemisia grandii*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、百里香(*Thyme*)、沙棘(*Hippophaerhamnoides*)和酸枣灌丛(*Zizyphus sativa*)等,人工林主要有乔木林、经济林、灌木林等。

1.2 研究方法

1.2.1 数据收集和土壤水分的测定 本研究先从文献资料中提取该区的深层土壤水分的数据,所用数据在文献中以图的形式给出,用软件 Get Data Graph Digitizer 软件提取。通过实地勘察、咨询文献作者及取样当事人的方式,明确文献中的具体取样地,在此基础上进行取样试验。在野外试验中,对油松和柠条林地采用 10 m×10 m 的标准地进行植被调查(表 1,图 1),调查项目包括标准地位置、地形、地貌、植被组成等。土壤水分的测定采用根钻法(洛阳铲),以 20 cm 为一层获得 0~10.0 m 范围内的土壤,在 105 °C 条件下烘干 8 h 测定标准林地的土壤水分含量。各层土壤储水量(mm)根据质量含水量和土壤容重计算[17]。取样时间为 2018 年 8 月,是一年中土壤水分变化最为活跃的时期之一。整个土壤剖面上土壤容重都取 1.3 g cm⁻³。野外取样的方法与文献[17]中的方法一致,样地情况列入表 1,其中提取的数据的林龄是截止 2006 年的。因 2.0 m 是当地降水入渗的最大深度,且 0~2.0 m 土层的土壤水分受外界多因素干扰,所以将 2.0 m 以下的深层土壤水分作为本研究的主要研究对象。本研究所用到的气象数据从中国气象科学数据共享(<http://cdc.cma.gov.cn/>)获得,采样年份的降水量情况见表 2。

表 1 土壤水分取样点基本情况

Table 1 Basic characteristic of sampling sites

数据 Data	植被类型 Vegetation types	坡向 Aspect	坡度 Slope	平均胸径 Mean diameter (cm)	平均树高 Mean height of tree (m)	郁闭度 Crown density	盖度 Coverage (%)	林龄 Tree age (a)
实测	油松	阴坡	陡坡	5.1	5.5	10/11	-	33
				6.2	6.8	11/12	-	
	柠条	阴坡	陡坡	-	1.4	0	95	
				-	1.3	0	85	
提取	油松	阴坡	陡坡	-	5.0	-	90	21
	柠条			-	1.2	-	90	

表 2 采样年份降水情况统计

Table 2 Statistics of precipitation before sampling

年份 Year	采样前累计降水量 Accumulated precipitation before sampling (mm)	年降水总量 Total annual precipitation (mm)	占全年降水量的百分比 Percentage of annual precipitation (%)
2001 年	449.5	457.5	98.3
2006 年	422.1	434.9	97.1
2018 年	249.1	479.4	52.0



图 1 土壤水分测定样地平面位置图

Fig.1 Locations of sample plots for soil moisture testing

1.2.2 数据处理研究中的统计学分析 主要通过 Excel 2010 和 SPSS 19.0 实现,用 Excel 2010 进行数据的整理计算以及降水分析,用 SPSS 19.0 统计不同年份两植被各土层的平均土壤储水量、离差和标准误差,并对 2001 年、2006 年和 2018 年这三年的土壤储水量进行重复测量方差分析,比较不同植被不同年份各土层土壤储水量的差异显著性,重复测量是指对同一观察对象的同一观察指标在不同时间点上进行的多次测量,用于分析观测指标在不同时间上的变化特点^[18]。用 Origin 8.5 作出林地不同年份土壤含水量随土层深度变化的图像,分析得出土壤含水量的变化规律。

2 结果与分析

2.1 研究区近 20 年降水量变化分析

从研究区近 20 年降水量变化图(图 2)中可以看

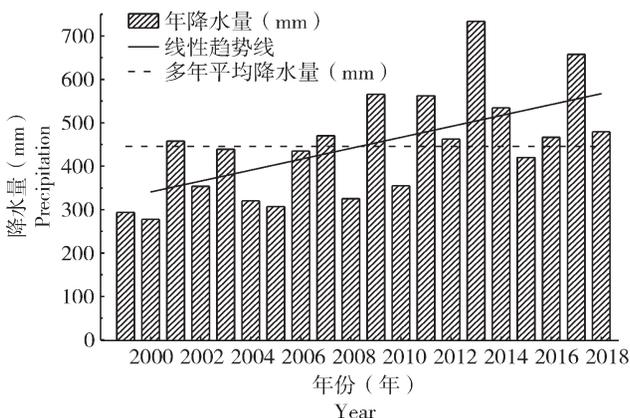


图 2 研究区 1999 ~ 2018 年降水量变化

Fig.2 Variation of annual precipitation from 1999 to 2018

出,该区 1999 ~ 2018 年降水量在 277.6 ~ 733.7 mm 之间变化,降水量最多的是 2013 年,最少的是 2000 年,多年平均降水量为 445.79 mm,变异系数 27.45%,年际间降水波动明显。线性趋势分析表明,1999 ~ 2018 年这 20 年研究区年降水量呈现增加趋势根据常用降水年型划分标准^[19]:枯水年为 $P_i < P - 0.33\sigma$,丰水年为 $P_i > P + 0.33\sigma$,平水年为 $P - 0.33\sigma \leq P_i \leq P + 0.33\sigma$,其中 P_i , P , σ 分别代表当年降水量(mm),多年平均降水量(mm),多年降水量的标准差(mm)。对研究区近 20 年降水进行分析得出,多年降水量的标准差为 120.30 mm,以 2009 年为界,2009 ~ 2018 年间丰水年增多,枯水年减少,更能说明该区降水呈增加趋势,近 20 年降水年型分布见表 3。

表 3 1999 ~ 2018 年降水年型统计

Table 3 Statistics of precipitation years from 1999 to 2018

年份 Year	年数 Number of year	丰水年数 Years of abundant water	平水年数 Years of normal water	枯水年数 Years of dry water
1999 ~ 2008	10	0	4	6
2009 ~ 2018	10	5	4	1

2.2 长时间尺度下林地土壤水分变化分析

通过降水年型的分析得出,2001 年、2005 年、2006 年^[17]和 2018 年这四年中,2005 年为枯水年,其余年份为平水年,因此,我们把同一降水年型的土壤水分数据作为研究对象,分析土壤水分在长时间尺度下的变化。

2001 年、2006 年和 2018 年油松林和柠条林 0 ~ 10 m 土壤剖面的水分变化如图 3 所示。随土层深度的增加,油松和柠条林地浅层土壤水分都呈现减小—增大—减小的趋势,油松和柠条林地的深层土壤水分都呈波浪形变化,变化幅度较小,对于油松林,2.4 ~ 5.4 m 土层的土壤含水量 2018 年 > 2006 年 > 2001 年,5.4 ~ 10.0 m 土层的土壤含水量 2018 年 > 2001 年 > 2006 年,油松林这三年的深层土壤含水量分别为 5.03%,4.96%,6.01%,即土壤含水量 2018 年 > 2001 年 > 2006 年,2018 年土壤含水量高于其余两年份约 1%左右;对于柠条林,6.0 ~ 10.0 m 土层的土壤水分变化幅度大于 2.0 ~ 6.0 m,且在 6.0 m 以下土层土壤含水量有所增加,这三年的深层土壤含水量分别为 4.80%,4.57%,4.98%,即土壤含水量 2018 年 > 2001 年 > 2006 年,与油松林地一致。

2.3 林地深层土壤水分变化的影响因素

对油松和柠条林地不同年份的深层土壤储水量进行重复测量方差分析结果(表 4)表明,Mauchly 球

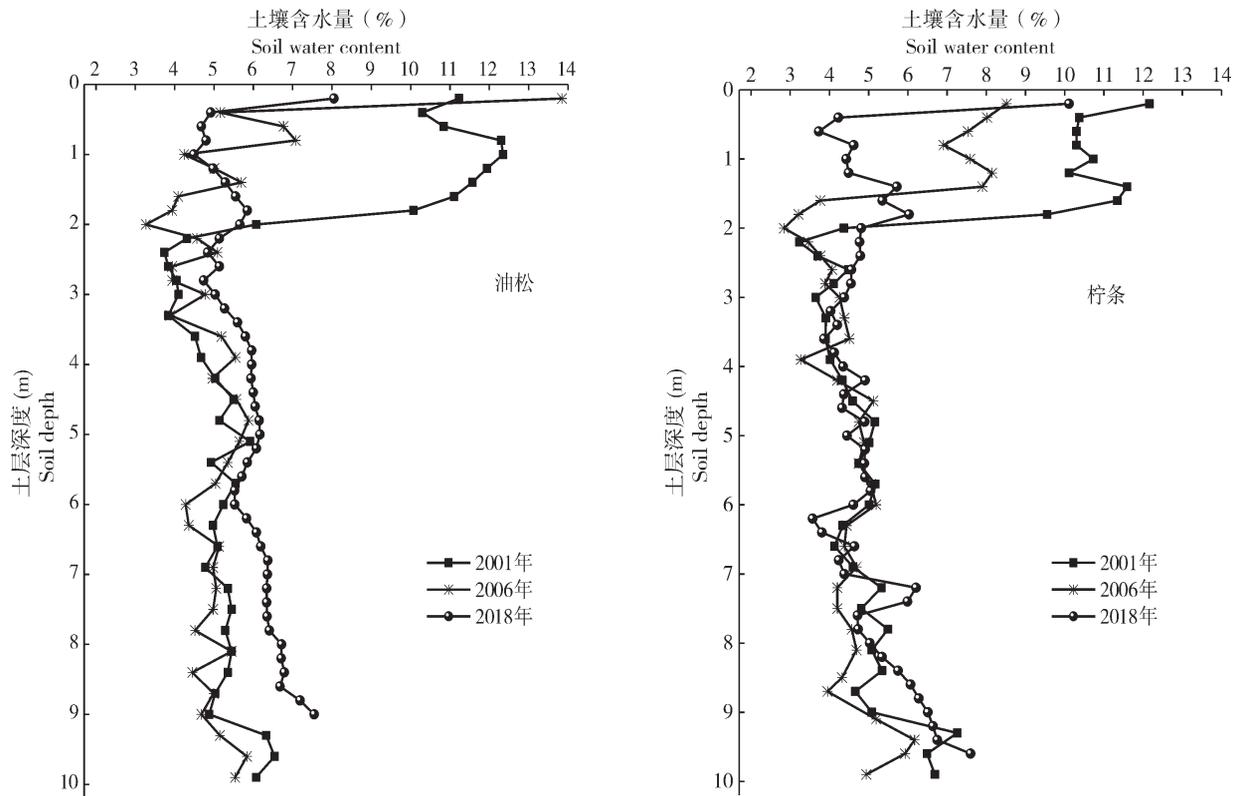


图 3 林地土壤水分变化

Fig.3 Change of soil moisture content with depths in forest land

表 4 Mauchly 球形检验

Table 4 Results of Mauchly spherical test

主体内效应 Within Subjects Effect	Mauchly's W	近似卡方 Approx. Chi-Square	自由度 df	显著性 Sig.	Epsilon		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	下限值 Lower-bound
年份	0.624	2.356	2	0.308	0.727	1.000	0.500

性检验满足球形假定 $P > 0.05$, 无需进行校正。两林地不同年份的深层土壤储水量方差分析(表 5)结果中油松林 $P < 0.05$, 且油松林 2018 年的土壤储水量比 2001 年和 2006 年土壤储水量多 100 mm 左右, 由此可以看出长时间尺度下油松林深层土壤水分存在显著的年际变化; 而柠条林则是 $P > 0.05$, 且柠条林

2018 年的深层土壤储水量比 2001 年和 2006 年大 20 ~ 30 mm, 说明长时间尺度下柠条林深层土壤储水量不存在显著的年际变化。这一点柠条林与油松林地恰好相反, 且植被类型差异极显著 ($P = 0.000$), 更加说明深层土壤水分的年际变化与植被类型密切相关。土层深度间差异也达极显著 ($P = 0.000$), 说明受

表 5 林地不同年份深层土壤储水量方差分析

Table 5 Variance analysis for deep soil water storage in forest land in different years

源 Source	III 型平方和 Type III sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	显著性 Significance	
年份 (油松)	Sphericity Assumed	917.930	2	458.965	10.073	0.003
	Greenhouse-Geisser	917.930	1.331	689.823	10.073	0.010
	Huynh-Feldt	917.930	1.567	585.957	10.073	0.006
	Lower-bound	917.930	1.000	917.930	10.073	0.019
年份 (柠条)	Sphericity Assumed	101.398	2	50.699	1.799	0.202
	Greenhouse-Geisser	101.398	1.403	72.276	1.799	0.215
	Huynh-Feldt	101.398	1.648	61.531	1.799	0.210
	Lower-bound	101.398	1.000	101.398	1.799	0.222
植被类型	267.998	1	267.998	58.757	0.000	
土层深度	1177.442	7	168.206	36.878	0.000	

不同土层土壤水分运动变化的影响,土壤储水量显著不同。

在林地深层土壤储水量年际变化图(图 4)中,两林地在 2.0 ~ 5.0 m 土层范围内 2006 年深层土壤储水量相比 2001 年有所增加,这与 1999 ~ 2006 年降水量的变化趋势相同,而 5.0 m 以下的土层土壤储水量经过长达 5 年的降水后,土壤储水量仍在减少,由此可见在此时间尺度内的降水对深层土壤储水量有影响,且对其影响深度为 0 ~ 5.0 m。从 2006 ~ 2018 年同一林地经过近 12 年的降水后,除 5.0 ~ 6.0 m 土层外,其余土层土壤储水量均呈现增加趋势,这与近 12 年降水量的变化趋势一致。同一林地经过 2001 ~ 2018 年近 18 年的降水后,土壤储水量变化趋势与经过 12 年降水的变化趋势一致,由此可以判断长时间尺度(> 5 年)的降水对深层土壤储水量有影响,且影响深度也会随时间增加。而在前两个年份深层土壤储水量的最大值则出现在 5.0 ~ 6.0 m 土层,我们将其称为深层土壤剖面中的“高湿层”,2018 年深层土壤储水量的最大值则出现在 8.0 ~ 9.0 m 土层,这可能是由于长时间尺度的降水使土壤水分“高湿层”出现下移现象。

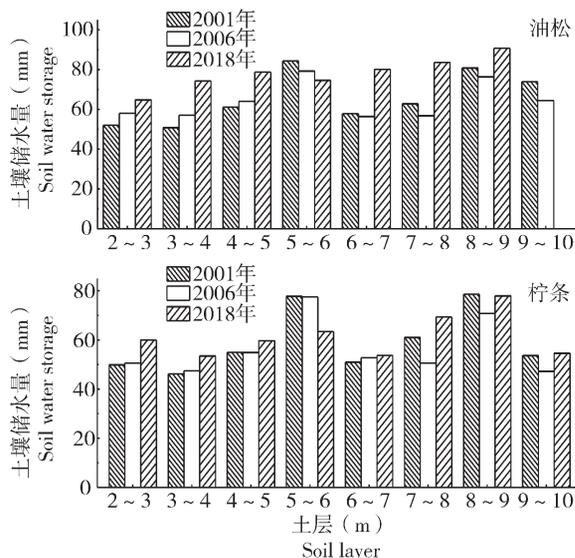


图 4 林地深层土壤储水量年际变化

Fig.4 Change of soil water storage at different depths with years

3 讨论

在本研究中,绥德地区的降水量呈增加趋势,这与对陕西省近 50 年降水量时空变化分析得到的陕西省的降水在 21 世纪初有所回升的结论相一致^[20],对陕北地区降水量的研究也得到 2000 年以后降水量略有回升,但幅度不明显^[21],但这与已研究过的的黄土

高原 1961 ~ 2014 年间的年降水变化呈减少趋势的结论不同^[22,23]。本研究以绥德辛店沟为例,得到 2009 ~ 2018 年该区域年平均降水量比 1999 ~ 2008 年的平均降水量增加了 156 mm,这对该区土壤水分的补给起到了一定的作用。受降水、蒸发蒸腾和植被生长等因素的影响,土壤水分所受外界环境的影响会随土层深度的增加而减弱。本研究表明,两林地深层土壤水分呈波浪形变化,年际变化与植被类型有关,即油松林深层土壤水分年际变化显著,而柠条林则不显著,两林地深层土壤储水量均呈现 2018 年 > 2001 年 > 2006 年,这也是因为不同的植被类型对土壤水分消耗的深度和强度不同,而年际间土壤储水量的增减幅度也不同,这与已有研究得出的稳定层中油松和柠条土壤含水量不存在显著年际差异的结论不同^[6]。在长时间尺度下深层土壤储水量都有不同幅度的增加,这说明近年来降水增加对人工林的土壤水分起到了一定的补给作用,且该区域所有的人工林都种植于 1985 年,则 2001 年林龄为 15 年,2006 年林龄为 21 年,至 2018 年为 33 年,随树龄的增加林木耗水减少使得土壤水分有所增加,这与已有研究得出的在柠条种植 26 年以前,随着年限的增加,剖面土壤水分逐渐减小,26 年之后柠条地剖面土壤水分有逐渐恢复的趋势的结论一致^[24]。本研究采用将医学中较为常用的数据分析方法——重复测量方差分析^[18]应用到土壤水分影响因素分析中,得出深层土壤储水量的年际变化受植被类型的影响较大,据实地观测可看出,油松林密度大,林分郁闭度较高,地面枯落物层较厚,这可以有效地抑制土壤蒸发,而柠条林分密度小,地面枯落物较少,土壤水分消耗较大,因此不同植被类型深层土壤水分变化不同。这与原焕英研究得出的黄土高原半干旱区油松和柠条耗水规律不同的结论一致^[25],且在整体土层剖面土壤水分都会因不同土层的土壤水分运动而变化。2009 年以后降水量的相对增加使得两林地的深层土壤水分有所增加,这与王锐等研究黄土塬区深层土壤水分得出的结论相一致,认为丰水年或者较大规模的持续降水可以对深层土壤水分起到补给作用^[26]。两林地经过短时间尺度(< 6 年)的降水在 2.0 ~ 5.0 m 土层范围内深层土壤储水量有增加趋势,这与 1999 ~ 2006 年降水量的变化趋势相同,而 5.0 m 以下的土层土壤储水量经过长达 5 年的降水后,土壤储水量仍在减少,可见此时间尺度内的降水对深层土壤储水量的影响深度为 0 ~ 5.0 m。同一林地经过 2001 ~ 2018 年近 18 年的降水后,土壤储水量的变化与经过 12 年降水的变化一致,即都呈现

增加趋势,且降水对土层的影响深度也会随时间增加。另外,长时间尺度的降水可能会导致土壤水分“高湿层”下移现象。

4 结论

(1) 1999 ~ 2018 年近 20 年研究区年降水量呈现增加趋势,且丰水年数量增加,枯水年数量减少。

(2) 刺槐和柠条林地深层土壤水分储量呈波浪形变化,其年际变化与植被类型有关,深层土壤储水量均呈现 2018 年 > 2001 年 > 2006 年。

(3) 短时间尺度内(< 6 年)的降水对深层土壤储水量的影响深度大约为 0 ~ 5.0 m,长时间尺度(> 5 年)的降水对深层土壤储水量的影响深度会随时间加深,并且长时间尺度的降水可能会导致土壤水分“高湿层”下移现象出现。而两林地同一年份的土壤储水量差异并不显著。

参考文献:

- [1] 林 纾,王毅荣. 中国黄土高原地区降水时空演变[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 502 - 508.
- [2] 卢爱刚. 半个世纪以来黄土高原降水的时空变化[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 957 - 959.
- [3] 程楠楠,何洪鸣,逯亚杰,等. 黄土高原近 52 年降水时空动态特征[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2016, 47(3): 388 - 392.
- [4] 李玉山,韩仕峰,汪正华. 黄土高原土壤水分性质及其分区[A]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊(土壤分水与土壤肥力研究专集)[C]. 1985, (2): 1 - 17.
- [5] 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:地球科学), 1998, (4): 357 - 365.
- [6] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 42 - 68.
- [7] 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.
- [8] 张北赢,徐学选,刘文兆,等. 黄土丘陵沟壑区不同降水年型下土壤水分动态[J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1234 - 1240.
- [9] 李 军,陈 兵,李小芳,等. 黄土高原不同植被类型区人工林地深层土壤干燥化效应[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1429 - 1445.
- [10] 王孟本,李洪建. 晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究[J]. 生态学报, 1995, 15(2): 178 - 184.
- [11] 李洪建,王孟本,柴宝峰. 晋西北人工林土壤水分特点与降水关系研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, (4): 61 - 66.
- [12] ROHIT S, ERIKA A. S, SAMUEL B. S C, et al. Effect of grassland vegetation type on the responses of hydrological processes to seasonal precipitation patterns[J]. Journal of Hydrology, 2011, 410(1): 51 - 56.
- [13] WANG Y Q, SHAO M A, LIU Z P. Vertical distribution and influencing factors of soil water content within 21-m profile on the Chinese Loess Plateau[J]. Geoderma, 2013, 193 - 194: 300 - 310.
- [14] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 404 - 411.
- [15] 李玉山. 土壤水库的功能和作用[J]. 水土保持通报, 1983, (5): 27 - 30.
- [16] 王志强,刘宝元,张 岩. 不同植被类型对厚层黄土剖面水分含量的影响[J]. 地理学报, 2008, 63(7): 703 - 713.
- [17] 李 轲,赵勇钢,刘小芳,等. 黄土丘陵区典型草地演替中植物群落特征与土壤储水量关系[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 55 - 60.
- [18] 米术斌,王 芳,张 雷. SPSS 17.0 实现重复测量资料的分析及两两比较[J]. 承德医学院学报, 2013, 30(4): 322 - 324.
- [19] 陶林威,马 洪,葛芬莉. 陕西省降水特性分析 [J]. 陕西气象, 2000, (5): 6 - 9.
- [20] 刘政鸿. 陕西省近 50 年来降水量时空变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2015, 22(2): 107 - 112.
- [21] 张桂梅,魏 娜,刘 韬. 陕北地区近 47 年降水小波变换分析[J]. 陕西气象, 2008, (5): 9 - 12.
- [22] 肖 蓓,崔步礼,李东昇,等. 黄土高原不同气候区降水时空变化特征[J]. 中国水土保持科学, 2017, 15(1): 51 - 61.
- [23] 王利娜,朱清科,仝小林,等. 黄土高原近 50 年降水量时空变化特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(3): 206 - 212.
- [24] 王云强. 黄土高原地区土壤干层的空间分布与影响因素[D]. 杨凌: 中国科学院水利部水土保持研究所, 2010.
- [25] 原焕英. 黄土高原半干旱区主要造林树种水分消耗规律研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [26] 王 锐,刘文兆,李丽霞. 土地利用类型对黄土塬区深层土壤含水量的影响——以长武塬区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(11): 127 - 132.

Effect of Precipitation Increase on Deep Soil Water Content in the Loess Plateau

YAN Xiao-ying¹, MA Li-hui^{1,2*}, LIU Zheng¹, KE Zeng-ming², LI Juan-juan¹,
YANG Jing-gui¹, HU Yu-mei³

(1. Northwest Agriculture & Forestry University Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

3. College of Advanced Agricultural Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China)

Abstract: In order to explore the effect of precipitation on soil water storage at different depths in the Loess Plateau, soil moisture contents under *Pinus tabulaeformis* and *Caragana microphylla* Lam. in Suide, Shaanxi Province were measured and compared with the data in 2001 and 2006. The results showed that the precipitation increased in the past 20 years. The precipitation in the region increased by 156 mm in 2009 – 2018 compared with that in 1999 – 2008. Deep soil water content under the two forests showed a wave-like pattern. The total water storage at a deep soil decreased in the order of 2018 > 2001 > 2006 and was consistent with the change trend of precipitation from 1999 to 2018. Its interannual variation was related with vegetation types. That is to say, the interannual variation of soil water content at the deep depth under *Pinus tabulaeformis* forest was significant, while that under *Caragana microphylla* Lam forest was not. The precipitation at a short time scale (< 6 years) showed an effect on the water storage at 0 – 5.0 m soil depth. The effect of long-term precipitation (> 5 years) on soil water storage deepened with time, and long-term precipitation may lead to a "high humidity layer" of soil water to move down.

Key words: Precipitation variation; Loess Plateau; Deep soil water content; Soil water storage; Interannual variation

[责任编辑:韩春兰]