

晋西黄土区典型林地土壤水分变化特征

赵丹阳¹, 毕华兴^{1,2,3,4,5,6}, 侯贵荣⁷, 崔艳红¹, 王宁¹, 王珊珊¹, 马晓至¹, 冯星⁸

(1.北京林业大学水土保持学院,北京 100083;2.山西吉县森林生态系统国家野外科学观测研究站,山西 吉县 042200;3.北京林果业生态环境功能提升协同创新中心,北京 102206;
4.水土保持国家林业局重点实验室(北京林业大学),北京 100083;5.北京市水土保持工程技术研究中心(北京林业大学),北京 100083;6.林业生态工程教育部工程研究中心(北京林业大学),
北京 100083;7.四川农业大学林学院,成都 611130;8.山西吉县林业发展中心,山西 吉县 042200)

摘要:选择晋西黄土区蔡家川流域5种典型林地(山杨×辽东栎天然次生林、人工油松×刺槐混交林、人工油松林、人工刺槐林、人工侧柏林)作为研究对象,在每块样地中心布设1个土壤水分观测点,采用TRIME-TDR土壤水分测定仪定位观测2016—2018年1—12月的土壤体积含水量,测定深度为200 cm,每20 cm为1个测层,每月分上、中、下旬进行土壤水分含量观测,分析不同林地类型土壤水分年内变化规律和土壤水分垂直变化规律。结果表明:(1)研究区不同林地土壤水分年内变化可以划分为稳定期(1—3月)、波动期(4—6月)、增长期(7—9月)和消耗期(10—12月)4个时期,5种林分类型的年平均土壤储水量按照从大到小的排序为天然次生林地(338.68 mm)>人工油松林地(319.74 mm)>人工侧柏林地(314.15 mm)>人工油松×刺槐混交林地(303.37 mm)>人工刺槐林地(292.03 mm),刺槐林地耗水量最大。(2)在雨季末,研究区5种林分类型林地土壤水分均得到了正向补充,且土壤水分的恢复能力大小排序为次生林地>针叶林地>混交林地>刺槐纯林。(3)研究区土壤水分垂直变化可划分为土壤水分含量速变层和土壤水分含量相对稳定层2个层次;随着土层深度增加,不同林地类型剖面平均含水量总体上先增大后减小。不同林地类型表层土壤水分含量为侧柏林地>次生林地>油松林地>油松×刺槐混交林地>刺槐林地;土壤水分的补充深度为天然林地>针叶林地>油松×刺槐混交林地>刺槐纯林。

关键词: 土壤水分; 晋西黄土区; 典型林地; 动态变化

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)01-0181-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.01.027

Soil Moisture Dynamics of Typical Plantation in Loess Region of West Shanxi

ZHAO Danyang¹, BI Huaxing^{1,2,3,4,5,6}, HOU Guirong⁷, CUI Yanhong¹,

WANG Ning¹, WANG Shanshan¹, MA Xiaozhi¹, FENG Xing⁸

(1.College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083;

2.Ji County Station, Chinese National Ecosystem Research Network(CNERN), Jixian, Shanxi 042200;

3.Beijing Collaborative Innovation Center for Eco-environmental Improvement with Forestry and Fruit Trees,

Beijing 102206; 4.Key Laboratory of State Forestry Administration on Soil and Water Conservation, Beijing

Forestry University, Beijing 100083; 5.Beijing Engineering Research Center of Soil and Water Conservation,

Beijing Forestry University, Beijing 100083; 6.Engineering Research Center of Forestry Ecological Engineering,

Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083; 7.College of Forestry, Sichuan Agricultural

University, Chengdu 611130; 8.Jixian Forestry Development Center of Shanxi, Jixian, Shanxi 042200)

Abstract: In this study, five typical forest lands (*Poplar Populus* × *Quercus liaotungensis* natural secondary forest, *Pinus tabulaeformis* × *Robinia pseudoacacia* mixed forest, artificial *Pinus tabulaeformis* forest, artificial *Robinia pseudoacacia* forest, and artificial *Platycladus orientalis* forest) in the Caijiachuan watershed of the loess area in west Shanxi were selected as the research object. A soil moisture observation point was placed in the center of each plot, and the soil volumetric water content from January 2016 to December 2018 were determined by the TRIME-TDR soil moisture analyzer, and the soil moisture in 0—200 cm soil layer was determined stratified with every 20 cm respectively in the early, middle and late of each month. Then the annual variation and the vertical variation of soil moisture in different forest types were analyzed. The results

收稿日期:2020-07-04

资助项目:国家自然科学基金项目(31971725);国家重点研发计划项目(2016YFC0501704)

第一作者:赵丹阳(1997—),女,硕士研究生,主要从事林业生态工程研究。E-mail:zhaody0224@163.com

通信作者:毕华兴(1969—),男,教授,博导,主要从事水土保持与林业生态工程研究。E-mail:bhx@bjfu.edu.cn

showed that (1) annual variation of soil moisture in different forest lands in this study area could be divided into four periods, including stationary period (January-March), fluctuation period (April-June), growth period (July-September) and consumption period (October-December), and the average soil water storage of the five forest types during the year followed the order of the natural secondary forest land (338.68 mm) > artificial *P. tabulaeformis* forest (319.74 mm) > artificial *P. orientalis* forest (314.15 mm) > the mixed forest land (303.37 mm) > the *R. pseudoacacia* forest (292.03 mm), and the water consumption of *R. pseudoacacia* forest land was the highest. (2) At the end of the rainy season, the soil moisture of the five forest types in the study area was positively supplemented, and the soil water recovery capacity followed the order of natural secondary forest land > coniferous forest land > mixed forest land > *R. pseudoacacia* forest land. (3) The vertical change of soil moisture in the study area could be divided into two layers, including the rapid change layer of soil moisture content and the relatively stable layer of soil moisture content. As the soil layer depth increasing, the average water content of different forest profiles generally increased first and then decreased. Surface soil moisture content of different forest types followed the order of *P. orientalis* forest > natural secondary forest land > *P. tabulaeformis* forest > mixed forest land > *R. pseudoacacia* plantations. Replenishment depth of soil moisture followed the order of natural secondary forest land > coniferous forest land > mixed forest land > *R. pseudoacacia* forest land.

Keywords: soil moisture; Loess Region of West Shanxi; typical forest lands; dynamic

土壤水分是植物生长的必需要素,也是土壤最重要的物理性质之一^[1]。土壤水分不仅影响地表径流、植被蒸腾,还影响着土壤的水文过程^[2],土壤水分本身又受到降雨、温度、地形和植被等众多因素的影响。在水土流失问题最严重和生态环境最脆弱的黄土高原地区,土壤水分是影响该区植被恢复和生态环境建设的重要因子之一^[3],同时也参与生态环境水循环,土壤层是一个巨大的“蓄水库”,是降雨和土壤水分的重要转换枢纽^[4]。

针对黄土高原地区土壤水分动态变化问题,已有大量学者进行了相关研究。赵忠等^[5]研究认为,不同水土保持林地所表现出的土壤水分状况不同;陕芮等^[6]研究了陕西省神木县中鸡镇小叶杨林地、沙柳灌丛、沙葱草地和裸露沙地土壤水分的变化特征认为,它们属于强烈的空间自相关;孔凌霄等^[7]揭示了晋西黄土区不同坡向、不同密度的刺槐林地土壤水分季节变化规律和垂直变化规律,提出该区刺槐林的种植密度应不超过 1 500 株/hm²。已有的土壤水分研究大多关注不同的土地利用类型,如灌木地、草地、农地和林地等,或是关注某种林分类型如刺槐,而对不同林地类型的系统研究较少,考虑到晋西黄土区人工林分布广的特点,有必要对不同林地类型的土壤水分特征进行系统研究,为造林工作提供科学支撑。

晋西黄土区整体上气候干旱、降水稀少且时空分布不均,土壤水分是制约该区植被恢复的重要因子^[8]。在该区植被建设过程中,人工水土保持林发挥了至关重要的作用,例如保水固土、截流减沙、改良土壤结构和改善生态环境等,因此,研究该区典型林地土壤水分的动态变化规律,对合理有效利用水资源、促进植被恢复和生

态环境建设具有重要意义。本研究选择晋西黄土区蔡家川流域 5 种典型林地为研究对象,采用 TRIME-TDR 土壤水分测定仪对 0—200 cm 土层的土壤体积含水量进行测定,分析不同林地类型土壤水分在时间和空间上的动态变化特点和规律,以期为该区人工林树种的选择和水资源的有效利用提供科学依据,进一步实现林业资源的可持续发展。

1 研究区概况

研究区位于山西吉县蔡家川流域(110°39′45″—110°47′45″E,36°14′27″—36°18′23″N),该流域为国家森林生态系统野外科学观测研究站所在地。蔡家川流域面积 40.10 km²,海拔 950~1 370 m,属于黄土残塬沟壑区,年平均降水量 575.9 mm,且降水集中,6—9 月的降水约占全年降水的 80.6%,年平均蒸发量 1 723.9 mm,4—7 月的蒸发量约占全年蒸发量的 54%。蔡家川流域内的土壤为碳酸盐褐土,黄土母质,呈微碱性。流域内的植被主要包括天然植被和人工植被两大类,天然植被有白皮松(*Pinus bungeana*)、山杨(*Populus daviana*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、山桃(*Prunus davidiana*)、黄刺玫(*Rose Xanthina*)、杠柳(*Periploca sepium*)、冰草(*Agropyron critatum*)、黄花蒿(*A. annua*)等;人工植被主要有侧柏(*P.orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*P. tabuliiformis*)、苹果(*Malus pumila*)、桃(*Amygdalus persica*)、杏(*Armeniaca vulgaris*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置

在研究区内分别选取代表性的刺槐林地、侧柏林地、

油松林地、油松×刺槐混交林地和山杨×辽东栎次生林地作为土壤水分观测样地,样地面积为 20 m×20 m,分别测定样地内林分的基本指标,包括海拔、坡度、坡向、树龄、林分密度和郁闭度,各样地基本情况见表 1。

表 1 不同林地基本情况

林地类型	海拔/m	坡度/(°)	坡向/(°)	林龄/a	林分密度/ (株·hm ⁻²)	郁闭度
天然次生林	1060	23	N10			0.85
油松×刺槐混交林	1131	25	N105	19,25	500,300	0.70
油松林	1330	20	N170	22	600	0.75
刺槐林	1319	25	N180	22	1125	0.66
侧柏林	1131	28	N168	22	1800	0.78

2.2 数据获取

在不同林分类型林地中央布设安装 TRIME-TDR 土壤水分测定仪,定位观测 2016—2018 年 1—12 月的土壤体积含水量,测定深度为 200 cm,每月上、中、下旬分别对每个测层(20 cm)进行土壤水分含量观测,测定时读取 3 次重复读数,取平均值作为该层土壤体积含水量。同时,为了对 TDR 测定值进行数据标定,在每个样地中央挖掘土壤剖面 2 m,每层 20 cm 用铝盒取土,用烘干法测定土壤含水量。

2.3 数据处理

2.3.1 土壤储水量计算 通过公式^[9]计算各测层土壤储水量 W_i (mm):

$$W_i = \theta_i \times D_i$$

0—200 cm 土层总储水量 W (mm):

$$W = \sum_{i=1}^{10} \theta_i D_i$$

式中: θ_i 为各土层的土壤体积含水量(%); D_i 为土层厚度(cm)。

2.3.2 有序样本最优分割法 有序样本最优分割法是系统聚类中的一种方法,它的基本思想是先将 n 个样品看成一类,然后依据分类的误差函数逐渐增加分类,能够在不打乱样本原有顺序的基础上进行聚类分析。本研究在得到分析结果后绘制碎石图,拟合误差函数与分类数的函数关系曲线,确定不同林地土壤水分的最优分类数和划分边界。

2.3.3 数据统计分析 本文使用 Microsoft Excel 2013 进行数据处理及表格制作,使用 Origin 2017 制图,使用 DPS 9.5 对土壤水分数据进行有序聚类分析。

3 结果与分析

3.1 不同林地土壤水分的时间变化动态

3.1.1 土壤储水量的季节性变化特征 由于受到气候变化和植被生长耗水等的影响,土壤储水量在年内呈现出季节性变化^[10]。为了提高土壤水分季节性动态变化划分的科学性,减少人为主观因素影响,本研究采用有序样本最优分割法,对研究区不同林地 12 个月平均土壤储水量进行聚类分析,各林地误差

函数分布见表 2。由表 2 可知,随着分类数增大,最小误差函数呈现减小趋势,分类数 $K=4$ 时误差函数 <0.05 ,即拟合曲线的拐点均出现在分类数为 4 的点,因此,研究区不同林地土壤水分季节性变化最适宜划分为 4 个时期。结合不同林地月平均储水量的变化(图 1)可知,不同林地平均土壤储水量在年内总体呈现出随着春夏秋冬季节而有规律的变化,研究区土壤储水量季节动态变化可划分为稳定期(1—3 月)、波动期(4—6 月)、增长期(7—9 月)和消耗期(10—12 月)4 个时期。

表 2 不同林地类型误差函数

分类数	油松	油松×刺槐	刺槐	次生林	侧柏
2	0.1829	0.2327	0.3780	0.3553	0.3199
3	0.1232	0.1154	0.1557	0.0757	0.1544
4	0.0433	0.0500	0.0498	0.0391	0.0449
5	0.0337	0.0410	0.0457	0.0221	0.0428
6	0.0258	0.0140	0.0188	0.0150	0.0280
7	0.0150	0.0110	0.0014	0.0090	0.0180
8	0.0060	0.0070	0.0011	0.0020	0.0080
9	0.0040	0.0060	0.0008	0.0010	0.0050
10	0.0010	0.0030	0.0005	0.0007	0.0020
11	0.0005	0.0010	0.0003	0.0002	0.0008

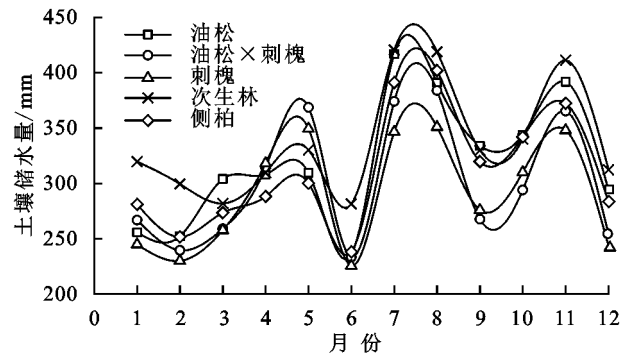


图 1 不同林地月平均储水量变化

人工油松林地在稳定期、波动期、增长期和消耗期的平均土壤储水量分别为 270.64, 284.45, 380.74, 343.35 mm, 土壤储水量变异系数分别为 4.65%, 9.76%, 11.09%, 9.84%; 人工侧柏林在 4 个时期的平均土壤储水量分别为 268.69, 275.53, 371.02, 332.68 mm, 土壤储水量变异系数分别为 4.65%, 9.84%, 11.09%,

9.76%；人工刺槐林地 在 4 个时期的平均土壤储水量分别为 244.21,297.74,324.53,300.67 mm,土壤储水量变异系数分别为 4.65%,14.33%,17.68%,10.60%；油松×刺槐混交林在 4 个时期的平均土壤储水量分别为 266.81,305.53,341.94,304.68 mm,土壤储水量变异系数分别为 4.30%,15.39%,18.21%,15.05%；天然次生林在 4 个时期的平均土壤储水量分别为 300.39,307.08,389.92,354.74 mm,土壤储水量变异系数分别为 5.14%,10.88%,11.70%,6.52%。

不同林地的土壤储水量变异系数均表现为在增长期最大,波动期的变异系数基本大于消耗期,稳定期的变异系数均为最小。第 1 时期稳定期为 1—3 月,此时气温较低,植物根系不活跃,对水分的利用很少,土壤水分的补充主要来自于冬季降水和融雪,补充量和消耗量基本相当,因此稳定期土壤储水量的变异系数最小；第 2 时期波动期为 4—6 月,气温回升,植物的耗水增加,而春季降雨和少量融雪又会对土壤水分进行补充,因此土壤储水量呈现出波动的状态,在 5 种林地类型中,除人工侧柏林外其余 4 种林地在波动期的平均土壤储水量均大于稳定期,即呈现出波动上升的趋势,同时,波动期的变异系数仅次于增长期,说明温度是影响土壤储水量变化的关键因素之一；第 3 时期增长期为 7—9 月,研究区降雨主要集中在 7 月,因此相对于 6 月来说,7 月降雨量突然增大,土壤水分得到了很好的补充,使得土壤储水量在短期内快速增长,此时植物也进入生长季,增长期的变异系数最大说明了降雨也是引起土壤储水量变化的关键因素；第 4 时期消耗期为 10—12 月,此时气温降低,降水量减少,相对于增长期来说土壤储水量明显减少,但由于同时

植物对土壤水分的利用速率也下降,因此这一时期土壤水分总体上表现出恢复的趋势。

从图 1 可以发现,不同林地年内平均土壤储水量按照从大到小的排序为天然次生林地>人工油松林地>人工侧柏林地>人工油松×刺槐混交林地>人工刺槐林地,土壤储水量依次为 338.68,319.74,314.15,303.37,292.03 mm。天然次生林地土壤储水量最大,油松林地和侧柏林地次之,人工刺槐林地土壤储水量最小,这体现出天然次生林地土壤水分状况最好,其次为针叶树林地和混交林地,而人工刺槐纯林的土壤水分状况最差,同时也说明 5 种林地类型中,刺槐纯林的耗水量最大。

3.1.2 雨季土壤储水量变化分析 土壤储水量在快速增长期的变异系数最大,说明降雨对土壤水分的影响至关重要,因此有必要研究雨季土壤储水量的变化。研究区的雨季是 5—10 月,分别计算雨季不同林地各土层平均储水量和总储水量。

从表 3 可以看出,0—200 cm 土层中油松林地的平均体积含水量最高,达 17.21%,储水量可达 344.20 mm,次生林地和侧柏林地次之,而刺槐纯林的土壤平均体积含水量为 14.70%,土壤储水量为 294.00 mm,为 5 种林分类型中最低。

从雨季初(5 月)至雨季末(10 月),土壤储水量的变化总体呈现增长趋势,即在雨季末 5 种林地的土壤储水量都得到了补充。其中,次生林地土壤储水量增加了 108.15 mm,侧柏林地增加了 103.94 mm,油松林地增加了 84.54 mm,油松×刺槐混交林增加了 60.71 mm,刺槐林地增加了 58.63 mm。不同林地类型土壤水分的恢复能力为次生林地>针叶林地>混交林地>刺槐纯林。

表 3 不同林地雨季平均土壤储水量											单位:mm
林地类型	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	60—80 cm	80—100 cm	100—120 cm	120—140 cm	140—160 cm	160—180 cm	180—200 cm	0—200 cm
油松	32.23	34.99	35.08	37.70	39.07	33.19	33.01	32.30	33.09	33.55	344.20
油松×刺槐	28.21	34.17	32.65	30.91	30.60	29.33	29.10	29.51	27.09	27.37	298.94
刺槐	29.85	34.46	33.78	30.05	28.91	27.70	28.32	27.73	26.99	26.21	294.00
次生林	35.18	35.21	36.33	35.24	32.15	33.45	33.33	33.16	32.47	31.25	337.77
侧柏	31.93	35.53	33.99	31.51	32.26	31.89	31.59	31.14	31.29	31.72	322.84

3.2 不同林地土壤水分的垂直变化动态

3.2.1 不同林地土壤剖面水分变异 变异系数可以表示各土层土壤水分含量变化的剧烈程度,变异系数越大,土壤水分含量变化越大,反之越小^[11-12]。表 4 为 5 种林地类型各土层土壤体积含水量的变异系数,从表 4 可以看出,0—200 cm 土层土壤体积含水量的变异系数随着土层深度增加而减小,即随着土层深度的增加,土壤水分含量的变化幅度减小。目前,对于土壤水分垂直分层的方法不一致,但对于上层土壤水分变化幅度大于下层的研究结论一致^[10]。本研究

中,不同林地类型土壤水分垂直分布变异系数的拐点基本在 100—120 cm 土层,即土壤体积含水量在 0—120 cm 土层变化剧烈,而在 120—200 cm 土层变化平缓。研究区 5 种林地类型土壤剖面含水量的变化可划分为土壤水分含量速变层和土壤水分含量相对稳定层。

3.2.2 不同林地土壤剖面水分变化对比 由图 2 可知,不同林地类型土壤体积含水量总体上随着土层深度的增加先增大后减小。0—200 cm 土层平均土壤体积含水量按照从大到小的排序为次生林地(17.07%)>侧

柏林地(16.90%)>油松×刺槐林地(16.00%)>油松林地(15.60%)>刺槐林地(15.45%);表层土壤(0—40 cm)平均体积含水量按照从大到小的排序为侧柏林地>次生林地>油松林地>油松×刺槐混交林地>刺槐林地,体积含水量分别为 16.68%,16.58%,15.75%,15.73%,15.16%。

表 4 不同林地土壤剖面含水量的变异系数

土层深度/cm	次生林	油松×刺槐	刺槐	油松	侧柏
0—20	0.36	0.29	0.25	0.31	0.27
20—40	0.28	0.26	0.22	0.24	0.18
40—60	0.27	0.23	0.21	0.22	0.21
60—80	0.26	0.24	0.19	0.18	0.24
80—100	0.26	0.23	0.23	0.19	0.22
100—120	0.24	0.22	0.23	0.21	0.18
120—140	0.23	0.20	0.19	0.20	0.19
140—160	0.20	0.17	0.18	0.19	0.15
160—180	0.15	0.12	0.14	0.17	0.13
180—200	0.17	0.11	0.13	0.14	0.10

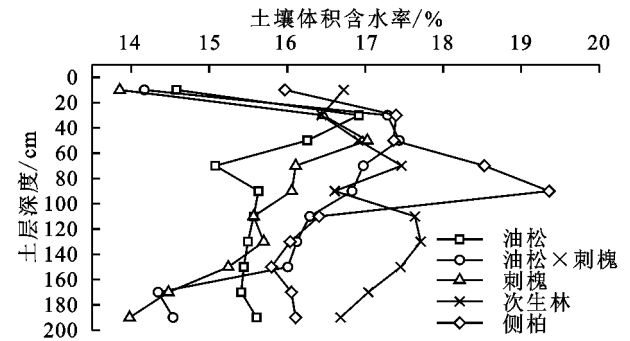


图 2 不同林地土壤剖面体积含水量分布

人工侧柏林地和油松林地土壤体积含水量呈现 2 次增减变化。第 1 次增加均出现在 0—40 cm 土层,第 2 次增加出现在 60—100 cm 土层;第 1 次减小出现在 40—60 cm 土层,第 2 次减小出现在 100—200 cm 土层。侧柏林地剖面平均土壤体积含水量在 15.80%~19.36%波动,油松林地剖面平均土壤体积含水量在 14.58%~16.92%波动。

人工油松×刺槐混交林地和刺槐林地土壤体积含水量均呈现出 1 次增减变化,即随着土层深度先增大后减小,0—60 cm 土层逐渐增大并在 40—60 cm 土层达到最大,之后呈现减小趋势并逐渐稳定。

而天然次生林地土壤体积含水量在 0—200 cm 土层总体上比较稳定,在 16.44%~17.71%波动。天然次生林地的变化幅度为 5 种林地中最小,0—200 cm 土层土壤体积分含水量的极差只有 1.27%,除次生林外,其他人工林地剖面土壤体积分含水量的变化幅度差距不大。

3.2.3 不同林地剖面土壤水分季节变化 不同林地剖面土壤水分含量随季节变化具有一定的规律(图 3)。总体来看,各土层土壤储水量随季节的变化呈现波动状态,其中最小值均出现在 6 月,最大值均出现

在 7—8 月。3 月进入春季后,气温回升,植物根系开始活动,耗水增加,导致土壤水分含量减少,5—6 月的少量降雨虽然补充了一部分土壤水分,但这一时期的蒸发量是降水量的 5 倍,总体上水分的消耗量远大于补充量,各林地表层(0—20 cm)土壤储水量呈减小趋势,且 6 月 0—200 cm 各层土壤储水量均为全年最低,在 225.53~281.36 mm;研究区降雨集中在 7—8 月,土壤水分含量得以补充,不同林地各土层土壤含水量均为全年最高,储水量在 346.57~420.70 mm;9 月进入夏末,降水量减少,而植物生长旺盛,耗水量大,加上温度依然较高,土壤水分蒸发量大,各土层土壤储水量快速减小;10 月以后,气温降低,植物根系活动缓慢且表层土壤蒸发量很小,而降雪补充了一部分土壤水分,因此各土层土壤储水量出现恢复趋势并逐渐稳定。

4 讨论

4.1 不同林地土壤水分季节变化特征

黄土高原地区的土壤含水量主要受到降水量、植被耗水量和气温等的影响,其中降水量是黄土高原地区植被恢复的制约因素,总体上看,研究区的土壤水分季节变化和降水的季节变化基本一致。目前,对于土壤水分季节性变化的研究没有一致的划分,根据不同研究区的地点和植被情况,多将其划分干湿 2 季或 3 个时期(消耗期—补偿期—稳定期)或者 4 个时期(消耗期—积累期—消退期—稳定期)^[13]。本研究中,根据有序聚类分析结果,将晋西黄土区 5 种典型林地土壤水分季节性变化划分为 4 个时期,分别为稳定期(1—3 月)、波动期(4—6 月)、增长期(7—9 月)和消耗期(10—12 月)。

本研究发现,不同林地年内平均土壤储水量的排序为天然次生林地>人工油松林地>人工侧柏林地>人工油松×刺槐混交林地>人工刺槐林地。这体现出天然次生林地和针叶树种林地土壤水分条件较好,混交林地次之,而人工刺槐纯林最差。这可能与不同植被类型土壤的持水能力和植被本身的蒸腾耗水量有关。霍嘉仪等^[14]对晋西黄土区不同林地类型对土壤水分特性的影响进行研究后发现,土壤持水能力大小为丁香>油松>刺槐>裸地;张佳楠等^[15]采用熵权法对晋西黄土区 4 种林分类型的水源涵养能力进行综合评价得出,4 种林地土壤最大蓄水能力为天然次生林地>人工油松林地>人工侧柏林地>人工刺槐林地;郭宝妮^[16]研究表明,晋西黄土区不同树种年蒸腾耗水量大小关系为刺槐>油松>辽东栎>山杨,刺槐和油松年耗水量明显大于山杨和辽东栎。说明在相同的气候条件下,次生林地和针叶树种保持土壤水分的能力大于刺槐纯林,且刺槐林的耗水量为 5 种林地中最大。

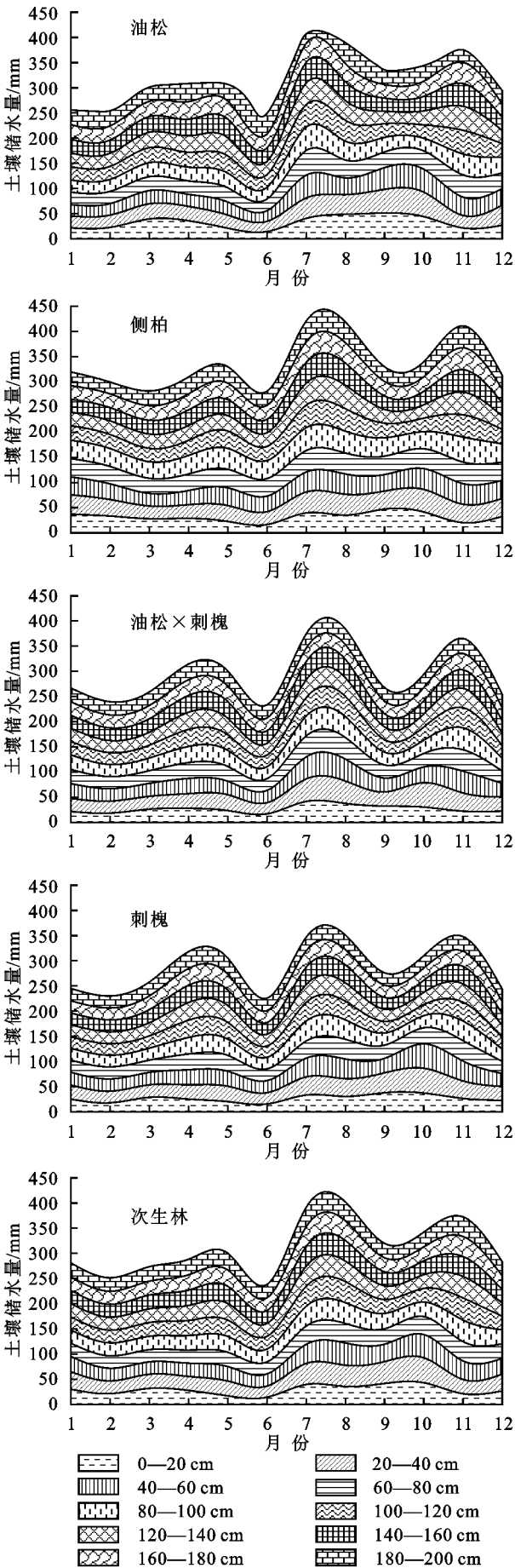


图 3 不同林地剖面土壤水分随季节变化

通过对研究区不同林地类型雨季(5—10 月)土

壤储水量变化进行分析后发现,所有林地 in 雨季末的土壤平均体积含水量均大于雨季初,即土壤水分得到了正向补给,其中刺槐林地的补充量最少,进一步说明了刺槐纯林的耗水量大,恢复能力差,土壤水分条件较差。这可能是由于侧柏和油松为常绿针叶林,且油松林下几乎没有灌草植被,地表常年覆盖着大量枯落物,枯落物层可以有效减少土壤蒸发,并改善了土壤物理性质^[17],增大了土壤水分的拦蓄能力。

4.2 不同林地土壤水分垂直变化特征

黄土高原地区土壤水分的垂直变化主要受到降雨入渗及再分配和土壤水蒸散发 2 个过程的影响^[18],具有明显的层次性特征,因此土壤水分也相应的呈现出层次性分布。目前对黄土高原地区的土壤水分垂直分层没有一致性的结果,但总体表现出上层水分含量变化剧烈,下层水分含量变化逐渐稳定。不同学者对土层的划分不同,张万儒等^[19]将黄土高原不同人工植被生态系统土壤水分含量的垂直变化划分为 4 层:土壤水分含量速变层、土壤水分含量活跃层、土壤水分含量次活跃层和土壤水分含量相对稳定层;宁婷等^[20]根据不同土层土壤含水量的变异系数,以 0.2 和 0.05 为标准将黄土丘陵区撂荒地土壤水分含量的垂直变化划分为活跃层、次活跃层和相对稳定层。本研究根据变异系数将研究区土壤水分垂直变化划分为土壤水分含量速变层和土壤水分含量相对稳定层 2 个层次,各林地土壤含水量的变异系数随着土层深度的增加而逐渐减小。0—120 cm 土层水分变化剧烈,这是由于降雨对表层土壤水分含量影响较大,其中 0—60 cm 土层水分含量的变异系数迅速减小,这主要是由降水入渗、土壤蒸发和林木根系吸水造成的^[12]。120 cm 以下土层水分含量变化相对平缓。

王军等^[21]研究表明,根据不同土地利用类型土壤水分沿垂直剖面的变化趋势可分为 3 种类型,分别为增长型(包括撂荒地、农地、间作地和草地)、波动型(包括林地和果园地)和降低型(灌木地);邱扬等^[22]研究表明,黄土高原地区 0—75 cm 土层土壤含水量随着土层深度显著增加。与本研究不同林分类型 0—200 cm 土层平均体积含水量呈现先增大后减小的波动趋势的研究结果类似。不同林地表层(0—40 cm)土壤体积含水量随着土层深度增加而增大,这是由于降水使表层土壤水分得到补充,而林下植被和枯落物层的覆盖减少了土壤蒸发,因此水分的积累大于消耗,使得土壤体积含水量呈增大趋势;40—120 cm 土层由于降水的补充和植物根系吸水以及蒸腾作用耗水,使得这一土层水分含量增减变化较大;下层土壤(120—200 cm)几乎得不到降水和地下水的补充,土壤体积含水量逐渐减小并趋于稳定。

不同林地类型表层土壤水分含量的排序为侧柏林地>次生林地>油松林地>油松×刺槐混交林地>刺

槐林地,这与不同林地类型根系的分布、林下植被生长状况和地表枯落物蓄积量有关,已有研究^[21]表明,油松林下常年有较厚的枯落物覆盖,且由于树叶中的单宁类物质较多,枯落物分解缓慢,这使得林地对降水的拦蓄能力好,表层土壤水分含量高;侧柏林由于郁闭度较高,减少了表层土壤水分蒸发量,因此表层土壤水分含量较高;天然次生林地林下灌草覆盖度高,土壤未受人工干扰,理化性质良好,因此土壤水分含量较高;而刺槐林地枯落物蓄积量较少,且分解速度较快,土壤腐殖质含量较低,林下灌草覆盖度较低,土壤理化性质较差,因此表层土壤水分含量最低^[23]。

从不同林地类型土壤水分在整个剖面的分布分析发现,侧柏林地和油松林地深层土壤(160—200 cm)水分含量高于油松×刺槐混交林地和刺槐林地,且在 80—100 cm 土层均出现了第 2 次增加,而混交林地和刺槐林地土壤水分含量最大值出现在 40—60 cm 土层,之后逐渐减小,说明土壤水分的补充深度是侧柏和油松林地更大。天然次生林地土壤水分含量剖面变化幅度最小,表层和下层差距不大,说明水分容易补充到下层土壤,天然林地的土壤性质和水分状况总体上比人工林好,也更稳定。因此,土壤水分的补充深度为天然林地>人工侧柏、油松林地>油松×刺槐混交林地>刺槐纯林。

5 结论

(1)研究区不同林地土壤储水量年内变化可以划分为稳定期(1—3 月)、波动期(4—6 月)、增长期(7—9 月)和消耗期(10—12 月)4 个时期,5 种林分类型年平均土壤储水量按照从大到小的排序为天然次生林地>人工油松林地>人工侧柏林地>人工油松×刺槐混交林地>人工刺槐林地,刺槐林地耗水量最大。

(2)雨季初至雨季末,研究区土壤储水量呈现增长趋势,5 种林分类型林地土壤水分均得到了正向补充,且土壤水分的恢复能力为次生林地>针叶林地>混交林地>刺槐纯林。

(3)研究区土壤水分垂直变化可划分为土壤水分含量速变层和土壤水分含量相对稳定层 2 个层次;随着土层深度增加,不同林地类型剖面平均含水量为总体上先增大后减小。不同林地类型表层土壤水分含量为侧柏林地>次生林地>油松林地>油松×刺槐混交林地>刺槐林地;土壤水分的补充深度为天然林地>针叶林地>油松×刺槐混交林地>刺槐纯林。

参考文献:

- [1] 侯贵荣,毕华兴,魏曦,等.黄土残塬沟壑区 3 种林地枯落物和土壤水源涵养功能[J].水土保持学报,2018,32(2):357-363,371.
- [2] 王国梁,刘国彬,党小虎.黄土丘陵区不同土地利用方式

- 对土壤含水率的影响[J].农业工程学报,2009,25(2):31-35.
- [3] 王舒,马岚,张栋,等.晋西黄土区不同林龄人工刺槐林下植被及土壤水分特征[J].北京师范大学学报(自然科学版),2016,52(3):253-258.
- [4] 于洋,卫伟,陈利顶,等.黄土丘陵区坡面整地和植被耦合下的土壤水分特征[J].生态学报,2016,36(11):3441-3449.
- [5] 赵忠,李鹏.渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征及抗旱性研究[J].水土保持学报,2002,16(1):96-99,107.
- [6] 陕芮,孙虎,刘月星.不同植被类型下的土壤水分特征研究:以陕西省神木县中鸡镇为例[J].河南科学,2018,36(1):65-69.
- [7] 孔凌霄,毕华兴,周巧稚,等.晋西黄土区不同立地刺槐林土壤水分动态特征[J].水土保持学报,2018,32(5):163-169.
- [8] 常译方,毕华兴,许华森,等.晋西黄土区不同密度刺槐林对土壤水分的影响[J].水土保持学报,2015,29(6):227-232.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 胡静霞,杨新兵.清水河流域典型林分类型土壤水分特征研究[J].西南农业学报,2018,31(1):118-125.
- [12] 张建军,张岩,张波.晋西黄土区水土保持林地的土壤水分[J].林业科学,2009,45(11):63-69.
- [13] 李笑吟.晋西黄土区土壤水分时空变化规律研究[D].北京:北京林业大学,2006.
- [14] 霍嘉仪,陈丽华,及金楠,等.晋西黄土区不同林地类型对土壤水分特性的影响[J].山地学报,2018,36(3):364-371.
- [15] 张佳楠,张建军,张海博,等.晋西黄土区典型林分水源涵养能力评价[J].北京林业大学学报,2019,41(8):105-114.
- [16] 郭宝妮.晋西黄土区主要水土保持树种耗水特性研究[D].北京:北京林业大学,2013.
- [17] Bates J D, Svejcar T S, Miller R F. Litter decomposition in cut and uncut western juniper woodlands[J]. Journal of Arid Environments,2007,70(2):222-236.
- [18] 马菁,宋维峰.元阳梯田水源区土壤水分动态变化规律研究[J].生态科学,2016,35(2):33-43.
- [19] 张万儒,庞鸿宾,杨承栋,等.卧龙自然保护区植物生长季节森林土壤水分状况[J].林业科学研究,1990(2):103-112.
- [20] 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.
- [21] 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):84-91.
- [22] 邱扬,傅伯杰,王军,等.黄土丘陵小流域土壤水分的空间异质性及其影响因子[J].应用生态学报,2001,12(5):715-720.
- [23] 朱悦.晋西黄土区土壤水分特性研究[D].北京:北京林业大学,2012.