

黄土丘陵区不同密度人工油松林土壤水分状况研究

黄琳琳¹, 陈云明^{1,2*}, 王耀凤³, 王利霞¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100;

3. 西安市农机监理与推广总站, 陕西 西安 710065)

摘要:以黄土丘陵区不同密度的人工油松林为对象,通过野外观测资料分析了其土壤含水量的季节及年际动态。结果表明:(1)研究期内降雨量主要集中在6-9月,占到全年降水量的80%以上,1-4月仅占当年降水量的3.2%~17.0%,表现出春旱严重;(2)林地土壤含水量随降雨量具有明显的季节和年际变化,并表现出1-2个月的滞后期,旱季不同密度的人工油松林地土壤含水量差异较小,雨季及生长季末差异明显,0~300 cm土层平均土壤含水量均表现出小密度林地显著高于中密度和大密度林地($P < 0.05$)。 (3)3种不同密度林地的土壤含水量垂直分布具有相似规律,均随土层深度增加而显著减低($P < 0.05$)。

关键词: 土壤水分; 林分密度; 人工油松林; 黄土丘陵区

中图分类号: S791.254.01

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2011)05-0001-05

Soil Moisture of Artificial *Pinus tabulaeformis* Stands with Different Densities in Loess Hilly Region

HUANG Lin-lin¹, CHEN Yun-ming^{1,2*}, WANG Yao-feng³, WANG Li-xia¹

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

2. Institute of Soil and Water Conservation of Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Xi'an Center of Agricultural Machinery Monitoring and Extension, Xi'an, Shaanxi 710065, China)

Abstract: From the field investigation, the seasonal and interannual dynamics of soil moisture in artificial *Pinus tabulaeformis* stands with different densities in the Loess Hilly Region were studied. The results showed that the rainfall mainly happened from June to September, accounting for 80% of a year. Precipitation from January to April accounted for 3.2%–17.0%, and caused severe spring drought. There were significant seasonal and annual variations of soil water content in rainfall reason, and showed 1–2 month lag. The differences of the soil water content with different sample sites in dry season were not obvious, but significant during the rainy season and the end of growing season. The average soil water content in 0–300 cm layer in the small density site was significant higher than those of others ($P < 0.05$). There were similar rules of soil moisture vertical distribution among three sample sites, and it was getting lower significantly with the increase of soil depth ($P < 0.05$).

Key words: soil moisture; stand density; artificial *Pinus tabulaeformis*; Loess Hilly Region

油松(*Pinus tabulaeformis*)作为黄土丘陵区主要的造林树种,由于其耐干旱瘠薄,有较强适应性和

抗逆性,同时具有很好的保持水土、涵养水源及改良土壤的作用,已经成为该区植被的重要组成部分

收稿日期: 2010-08-24 修回日期: 2010-12-21

基金项目: 陕西省科学院科技计划重点项目“陕北黄土丘陵区植被恢复与动物多样性保护关键技术”(2008K-04); 中国科学院知识创新工程“百人计划”项目; 黄土高原半干旱区群落水分平衡与调控机理(KZCX2YW-BR-02)。

作者简介: 黄琳琳,女,在读硕士,研究方向: 流域管理。

* 通讯作者: 陈云明,男,研究员,主要研究方向为植被生态与水文。

分^[1-3]。黄土丘陵区处于干旱和半干旱地带,降水相对较少,长期以来,人们对人工造林树种选择不当、结构单一、群落密度过大、群落生产力过高等原因,导致了其生态功能低下,出现严重的土壤水分亏缺^[3-4],使得人工林大面积衰退^[5-6],并造成了生态环境的恶化。因此,如何协调林-水矛盾,通过调节林分结构、降低林分密度,实现林地水分平衡,是当前人工林天然化培育及抚育管理中亟待解决的热点问题。近年来,众多学者对油松的生理生态特征^[7-8]、林地水土保持功能^[9-10]和水文生态特征^[11-12]等均有广泛的研究,但系统地对不同密度人工油松林地的土壤水分变化规律的研究不多。本研究以黄土丘陵区宜川县铁龙湾林场不同密度的人工油松林为对象,通过长期观测,研究其林地土壤水分的季节及年际变化规律,为该区人工林建设及管理提供理论依据。

1 研究区自然概况

试验林地位于中国科学院安塞水土保持综合试验站宜川铁龙湾林场森林水文和水土保持监测基地。地理位置为 35°39' N、110°06' E;地貌为黄土梁状丘陵,海拔 860~1 200 m,平均气温 9.7℃,无霜期 180 d;年均降水量 584.4 mm,但季节分布不均,多集中在 7-9 月,占年降水量的 60% 以上,降水量的年际变幅较大,丰水年最大降水量达 843.5 mm,枯水年最小降水量为 408.4 mm,相差 1.1 倍。土壤为褐色森林土,林下多有 2 cm 厚的死地被物,土壤表层有机质含量丰富,达 1.36%。

2 研究方法

2.1 试验样地设置

供观测的人工油松林为 1966 年营造,分布于山坡的西北、东、北坡,初植密度 6 000 株·hm⁻²,1983 年和 1992 年进行了 2 次间伐,现林分郁闭度 0.7 左右,林下灌木主要有胡颓子(*Elaeagnus pungens*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、荚蒾(*Viburnum dilatatum*)等;草本植物主要为披针苔草(*Carex lanceolata*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)等。在对试验区全面踏查的基础上,选取 3 个不同密度的人工油松林作为试验样地(表 1)。

2.2 土壤含水量的测定

于 2008-2009 年的每月 8、18 日和 28 日,采用土钻法在所选样地每隔 20 cm 取样 1 次,测定深度为 300 cm。在采样当日如遇降水,则在降水后第 3

d 采样。样品采集后带回室内采用烘干称重法测定,烘干温度为 105℃,烘干时间为 8 h。

表 1 样地基本情况

Table 1 Basic situations of experimental sites

林地	密度/ (株·hm ⁻²)	坡向	坡位	平均 树高/m	平均 胸径/cm
小密度	1 875	N36°E	中坡	11.8	15.1
中密度	2 125	N35°W	中坡	11.9	14.4
大密度	3 925	W26°S	中坡	12.3	11.4

2.3 降雨量测定

采用上海气象仪器厂生产的 SJ1 型虹吸式雨量计进行观测。

2.4 数据处理

Microsoft Excel 2003 软件进行数据处理和作图,SAS 10.0 统计软件进行方差分析和相关性分析。

3 结果与分析

3.1 2008—2009 年降雨量特征

研究区域 2008 年度和 2009 年度的降雨量及降雨次数存在明显的季节性变化(图 1),年度降水量依次为 434.7、418.9 mm,年降水次数依次为 44 次、32 次;其中 2008 年降雨量主要集中在 6、8 月和 9 月,这 3 个月的降雨量占到全年降水量的 71.1%,降雨次数占 50.0%;月降雨量以 9 月最高,达 110.7 mm,占全年降水量的 25.5%,降雨次数以 6 月最多,占全年降水次数的 25.0%;2009 年度主要集中在 5-9 月,这 5 个月的降雨量占到全年降水量的 94.8%;降雨量与降雨次数以 8 月最高,占全年降雨量 31.4% 和全年降雨次数的 25.0%;2 个年度 1-4 月的降水量很少,分别占当年降水量的 17.0% (2008 年)、3.2% (2009 年);该区降水量的季节分布及年际变化特征,反映出该区春旱严重,不利于油松的前期生长,雨季降雨量的高度集中,年平均降雨量较低和季节性的高度集中则不利于土壤水分在非生长季的恢复。

3.2 不同密度林地的土壤水分季节及年际变化

3.2.1 土壤水分季节变化 不同月份间、不同密度人工油松林地的土壤水分变化具有明显的季节特征,且具有相似性(图 2),其差异达到显著水平($P < 0.05$),这是植物生长规律和当地物候特点共同作用的结果。2008 年 1-5 月属于当年旱季,同期降雨量为 87.9 mm,仅占当年降水量的 20.2%,小、中、大 3 种不同密度林分平均含水量分别为 12.9%、

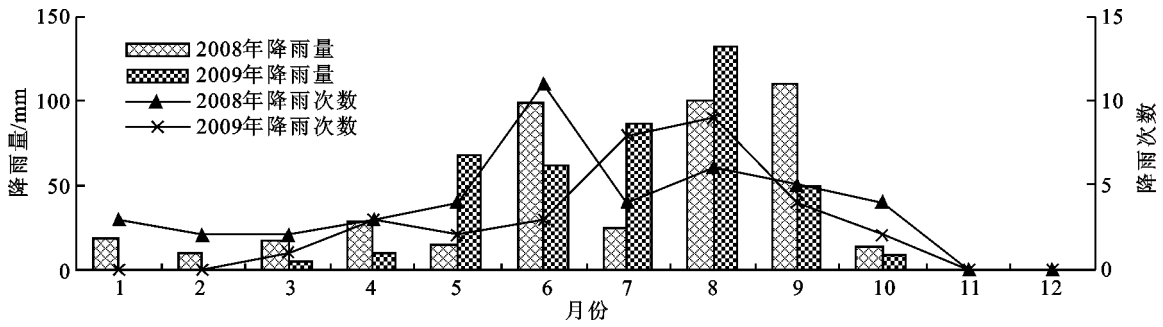


图1 研究区降雨变化特征

Fig. 1 Rainfalls in research areas

12.8%、12.8%，6-9月为该区雨季，同期降雨量为333.6 mm，占到全年降水量的76.7%，小、中、大3种不同密度林分平均含水量分别为13.8%、13.4%、13.0%，10月后进入生长季末期，林分对水分的消耗减少，虽然10-12月降水量较低，仅为13.2 mm，但小、中、大3种不同密度林分平均土壤含水量分别为13.8%、13.4%、13.3%，处于一个较高水平，说明土壤水分恢复与降雨时间相比具有一定的滞后效应；2008年11月至次年4月，降水稀少，降雨量为13.2 mm，土壤水分持续下降，小、中、大3种不同密度林分平均土壤含水量分别为12.3%、11.7%、11.9%，2009年5-8月进入该区雨季，降雨量逐渐增加，同期降雨量为348.3 mm，小、中、大3种密度林分平均土壤含水量依次为12.0%、11.4%、11.5%，土壤水分并未得到有效恢复，其原因可能与同期油松生长进入盛期及土壤水分恢复滞后有关，进入9-10月后，虽然同期降雨量

显著减少，土壤水分仍得到了较大恢复，小、中、大3种密度林分平均土壤含水量较8月份分别增加了1.2%、1.2%、0.9%，此后由于降水量的持续减少，3种密度林分土壤含水量也逐渐下降，进入与降水特征相适应的周期性变化，加剧了土壤干旱与大气干旱的叠加效应，不利于人工油松林土壤水分的恢复。

3.2.2 土壤水分年际变化 同一密度林地的土壤含水量随年际变化存在一定的差异(图2)，2008年度，0~300 cm土层平均土壤含水量，小密度、中密度、大密度依次为13.4%、13.0%、12.9%，2009年度分别为13.1%、12.7%、12.7%，3种密度林地的土壤含水量均表现出2008年度大于2009年度的趋势，这与当年降水量和降水次数存在显著相关关系($P < 0.05$)。经方差分析表明，在2个测定年度，小密度林地的土壤含水量显著高于中密度和大密度林地($P < 0.05$)，说明随林分密度的增大会加剧对土壤水分的消耗，不利于林分的稳定发展。

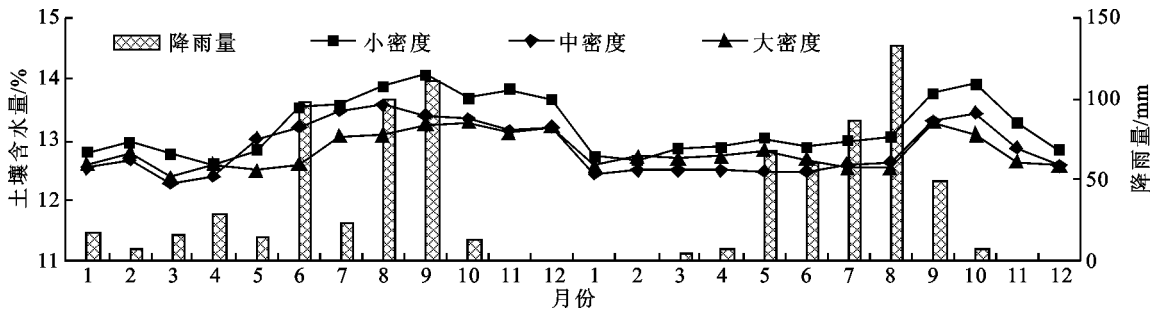


图2 不同密度人工油松林地土壤水分的季节变化

Fig. 2 Seasonal variations of soil water content in different densities of *P. tabulaeformis* plantations

3.3 不同密度林地的土壤水分垂直分布

3.3.1 土壤水分垂直分布的季节变化 土壤的水分特征是气候、土壤和下垫面特征的综合反映，图3反应了人工油松林地土壤水分垂直分布的季节性变化情况。依据其土壤水分的季节波动程度及林分根系分布情况，可将0~300 cm的土壤划分为3个层次，分别为表层急变层(0~40 cm)、水分利用层(40~160 cm)和水分调节层(160~300 cm)。3个层次

的水分变化特征分别为：

(1) 表层急变层(0~40 cm)：该层土壤含水量波动较大，且无明显的规律性，其变化主要受气象因素和地表覆被物等的影响，水分利用难度大。在2008-2009年的生长季节内，小、中、大密度林地的平均土壤含水量分别为18.5%、19.0%、18.4%。

(2) 水分利用层(40~160 cm)：该层为油松根系主要分布层，也是积蓄降水的主要层次，受降水特性

和根系耗水的双重作用,土壤含水量相对稳定;干旱时土壤含水量降低,降雨后土壤水分易恢复,是油松利用水分的主要层次。2008-2009年,5月干旱期各密度林地的平均土壤含水量为13.0%左右,土壤含水量较小,而且变化幅度小;8月份雨季,小、中、大密度林地的平均土壤含水量分别为15.3%、15.0%、14.4%,土壤含水量增加;10月份生长季末,土壤含水量得到一定恢复,较8月份分别高出1.4%、1.3%和1.6%。在2个测定年份的生长期,小、中、大密度林地的平均土壤含水量分别为15.2%、15.0%、14.5%。

(3)水分稳定调节层(160~300 cm):该层根系

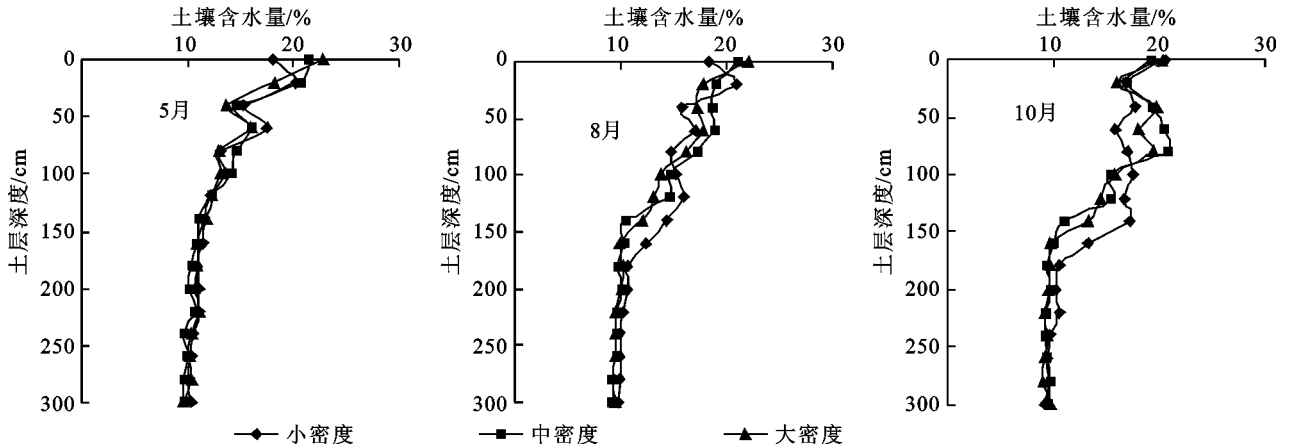


图3 不同密度林地土壤含水量的垂直变化

Fig. 3 Vertical variations of soil water content in different densities of *P. tabulaeformis* plantation

3.3.2 土壤水分垂直分布的年际变化 研究期内各土层之间土壤含水量变化差异显著 ($P < 0.05$)。在测定的2008和2009年度,3种不同密度林地的土壤含水量垂直分布具有相似的规律,随土层深度增加土壤含水量逐渐减少(表2)。2008年度,3种不同密度林地的土壤含水量垂直变化都很大,0~40 cm 土层含水量较高,小密度、中密度、大密度林地土壤含水量分别为18.0%、18.4%和18.1%;40~160 cm 土层中,土壤含水量降至较低水平,3种密度林地的土壤含水量依次为15.0%、14.9%、14.6%;在160 cm 以下达到一个相对稳定的数值(10%左右)。2009年度年降水量较2008年度减少15.8 mm,小、中、大3种密度林地的土壤含水量垂直分布表现为:40~160 cm 土层依次减少了0.8%、1.2%、1.1%,中、大密度林分减少较多;在160~300 cm 土层,小密度林分较2008年度减少了0.3%,中、大密度依次增加了0.1%、0.3%。说明2009年不同密度油松林对土壤水分的消耗主要在40~160 cm 土层,经方差分析表明,该层土壤含水量变化幅度也显著高于160~300 cm 土层 ($P <$

分布急剧减少,普通降雨得不到补充,在生长季末期可得到部分恢复,土壤含水量处于较低水平,但相对稳定,是油松应对极端干旱年的水分调节层。2008-2009年,5月干旱期,小、中、大3种不同密度林地的平均土壤含水量变化依次为10.8%、10.2%、10.6%,8月份雨季,各密度林地的平均土壤含水量分别为10.3%、9.7%、9.8%,10月生长季末分别为10.2%、9.5%、9.4%,说明土壤含水量的补给难度大,在干旱年份,即使到生长季末仍难以得到有效补充。在2个测定年份的生长期,小、中、大3种不同密度林地的平均土壤含水量依次为10.5%、9.8%、9.9%。

0.05)。在160~300 cm 深层土壤,不同密度林分的土壤含水量可有小幅的消耗或者补充,也说明该层具有一定的土壤水分调节功能。

表2 不同密度林地土壤含水量的垂直分布特征

Table 2 Vertical distribution of soil moisture in different densities of *P. tabulaeformis* plantation %

年份	林分类型	土层深度/cm		
		0~40	40~160	160~300
2008	小密度	18.0	15.0	10.6
	中密度	18.4	14.9	9.8
	大密度	18.1	14.6	9.9
2009	小密度	19.3	14.2	10.3
	中密度	19.5	13.7	9.9
	大密度	19.4	13.5	10.2

4 结论与讨论

研究区降雨量具有显著的季节变化特征,降雨量主要集中在5-9月,占全年降水量的80.0%以上;1-4月的降水量仅占当年降水量的3.2%~17.0%,春旱严重,不利于油松的前期生长,年降雨

量较低和季节性的高度集中则不利于土壤水分在非生长季的恢复。

小、中、大3种密度人工油松林地0~300 cm土层的平均土壤含水量与密度的关系表现为,旱季不同密度的人工油松林地土壤含水量差异较小,雨季及生长季末差异明显,在测定的2008和2009年度0~300 cm土层土壤含水量均表现出小密度林地显著高于中密度和大密度林地($P < 0.05$)。

依据研究区土壤水分的变化情况,将油松林地0~300 cm土壤划分为3个层次:土壤含水量受外界影响较大且水分利用难度较高的表层急变层(0~40 cm);土壤含水量相对稳定且水分利用程度较高的水分利用层(40~160 cm);土壤含水量较低且具有一定调节能力的水分稳定调节层(160~300 cm)。

参考文献:

- [1] 陈云明,吴钦孝,刘向东,等.黄土丘陵区油松生长与气候因子相关分析[J].水土保持通报,1996,16(2):38-42.
CHEN Y M, WU Q X, LIU X D, *et al.* Related analysis between the growth of Chinese pine and climatic factors in Loess Hilly Region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1996, 16(2): 38-42. (in Chinese)
- [2] 陈云明,梁一民,程积民.黄土高原林草植被建设的地带性特征[J].植物生态学报,2002,26(3):339-345.
CHEN Y M, LIANG Y M, CHENG J M. The zonal character of vegetation construction on Loess Plateau[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(3): 339-345. (in Chinese)
- [3] 王进鑫,罗伟祥,刘广全,等.黄土高原人工林根区土壤水分亏缺状况与空间分布[J].西北林学院学报,2004,19(4):1-4.
WANG J X, LUO W X, LIU G Q, *et al.* Spatial distribution of soil water deficit in rhizosphere of plantations of the Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(4): 1-4. (in Chinese)
- [4] 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.
YI L, LI K R, ZHANG G H, *et al.* Soil moisture deficit in artificial forest land in Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(5): 5-9. (in Chinese)
- [5] 傅伯仁.黄土高原人工林“三低”原因探析[J].甘肃农业,2004(11):57-58.
- [6] 吴钦孝,杨文治.黄土高原植被建设与可持续发展[M].北京:科学出版社,1998:54.
- [7] 王梅,张文辉.不同密度油松人工林生长更新状况及群落结构[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(7):75-80.
WANG M, ZHANG W H. Growth regeneration and community structure of *Pinus tabulaeformis* artificial forest under different densities[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2009, 37(7): 75-80. (in Chinese)
- [8] 韩恩贤,韩刚,薄颖生.黄土高原油松、侧柏与沙棘人工混交林生长及土壤特性研究[J].西北林学院学报,2007,22(3):100-104.
HANG E X, HANG G, BO Y S. Studies on the growth and soil properties of *Pinus tabulaeformis*, *Platycladus orientalis* and *Hippophae rhamnoides* mixed plantation on Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(3): 100-104. (in Chinese)
- [9] 赵鸿雁,吴钦孝,刘国彬.黄土高原人工油松林枯枝落叶层的水土保持功能研究[J].林业科学,2003,39(1):168-172.
ZHAO H Y, WU Q X, LIU G B. Studies on soil and water conservation functions of litter in Chinese pine stand on Loess Plateau[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2003, 39(1): 168-172. (in Chinese)
- [10] 杨会蒲.黄土丘陵区油松人工林水分生态效益研究[J].水土保持研究,2002,9(4):74-77.
YANG H P. Study on water ecological benefits of artificial Chinese pine stands in Loess Hilly Region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2002, 9(4): 74-77. (in Chinese)
- [11] 赵鸿雁,吴钦孝,陈云明.人工油松林系统水土保持功能的叠加效应[J].水土保持通报,2001,20(5):32-34.
ZHAO H Y, WU Q X, CHEN Y M. Accumulation effects on function of soil and water conservation in artificial Chinese pine forest system[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2001, 20(5): 32-34. (in Chinese)
- [12] 赵鸿雁,吴钦孝,从怀军.黄土高原人工油松林枯枝落叶截留动态研究[J].自然资源学报,2001,16(4):381-385.
ZHAO H Y, WU Q X, CONG H J. A study on interception processes of artificial Chinese pine forest litter on the Loess Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 16(4): 381-385. (in Chinese)