

半干旱区柠条林利用土壤水分深度和耗水量

郭忠升

(西北农林科技大学 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 植物根系利用土壤水分深度和耗水量是研究植物与土壤水关系的基础。以柠条为对象, 采用中子仪, 对撂荒地和柠条林地土壤水分进行长期定位观测和分析。结果表明, 2002 年内, 随着时间推移, 柠条利用土壤水分深度从播种时的 2 cm 左右, 迅速增加到 9 月 1 日的 90 cm, 10 月 15 日的 110 cm, 11 月 1 日的 170 cm, 到 11 月 15 日柠条利用土壤水分深度为 220 cm; 除丰水年(2 年生)柠条土壤储水量增加了 122.8 mm 外, 随着林龄的增加和降雨量等的变化, 植物利用土壤水分的深度和耗水量增加, 土壤储水量下降。到 2004 年生长季末, 3 年生柠条林地 100 cm 土层出现土壤干层, 5 年生柠条林地剖面 60—300 cm 土层出现土壤干层。此时需要采取措施, 控制柠条生长、密度和耗水量, 实现土壤水资源的可持续利用。

关键词: 黄土丘陵半干旱区; 柠条; 土壤水分; 利用深度; 储水量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)05-0069-04

中图分类号: S152.7+5

Using Depth of Soil Water and Water Consumption by Littleleaf Peashrub in the Semiarid Area of Loess Hilly Region

GUO Zhong-sheng

(Institute of Soil and Water Conservation, Northwestern A & F University, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The using depth of soil water and water consumption by littleleaf *Caragana korshinskii* is the base of studying the relationship between soil water and the plant growth. The dynamic of soil water were continuously measured with a neutron probe in wasteland and young peashrub forest land during the period from 2002 to 2006. Results showed that in 2002, the depth to which plant use soil water was increased from about 2 cm sowing on 24th June to 90 cm on 1st Sep., 110 cm on 15th Oct., 170 cm on 1st Nov., and 220 cm on 15th Nov. The using depth of soil water and water consumption by littleleaf peashrub were increased and the amount of soil water storage was reduced with increasing age apart from the wet year (2003) in which the amount of soil water storage was increased by 122.8 mm in the 2-year-old peashrub forest land. It was also discovered that soil desiccation at which water content was smaller than and equal to the upper limit of wilting coefficient occurred at the soil depth of 100 cm in the 3-year-old peashrub land and soil desiccation occurred in the soil layer from 60 to 300 cm in 5-year-old peashrub land. Some effective measures should be taken to control plant density and growth in order to reduce soil water consumption and realize sustainable use of soil water.

Keywords: semiarid region of loess hilly area; peashrub; soil water; using depth; water storage

在干旱和半干旱地区, 水分是影响生态系统功能和过程的关键驱动因子。水对植物生长过程的胁迫程度决定着植物群落的多样性、群落稳定性和生态系统生产力。黄土高原大部分地区水资源缺乏, 土层深厚、地下水埋藏较深, 无灌溉条件, 林地土壤水分主要依靠天然降雨补给, 因此林水关系调控只能依据土壤水分补给、存储和利用情况决定。近年来, 在黄土高

原大部分地区的植被恢复过程中, 由于人工林草强烈地蒸腾和吸水, 而土壤水分补给和存储量有限, 人们对植物生长过程又未及时进行干预, 导致林水关系失调, 结果在多年生人工林草地出现了土壤旱化, 实为超载引起的土壤退化现象。目前, 根系利用层土壤水分与植物生长的动态关系成为生态需水研究的一个核心问题^[1]。土壤水分存储和消耗是研究土壤水分

收稿日期: 2009-01-06

修回日期: 2009-03-08

资助项目: 国家科技支撑计划(2006BAD09B08); 国家自然科学基金重点项目(30230290); 中科院水土保持研究所领域前沿项目(SW05111)

作者简介: 郭忠升(1963—), 陕西省富平县人, 博士, 主要研究森林生态、森林水文与水土保持等。E-mail: zhongshenguo@sohu.com。

与植物生长关系的重要方面。因此掌握植物利用土壤水分深度和耗水状况及其年变化对于调控土壤水分与植被生长的关系,可持续利用土壤水资源,防治土壤旱化均具有重要意义。由于植物根系难以接近,因此有关野外条件下植物利用土壤水分深度和耗水量的研究报道较少。本文以柠条为对象,通过对撂荒地和柠条幼林地剖面土壤水分进行多年定位观测和分析,研究植物利用土壤水分深度和耗水量及其随林龄变化,试图为研究植物根系利用土层土壤水分储存、消耗或蒸发散的动态变化,确定植物生长与土壤水关系调控的起始期,土壤水资源可持续利用提供依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

实验地位于黄土丘陵半干旱区的宁夏回族自治区固原县上黄生态试验站,该站位于北纬 $35^{\circ}59' - 36^{\circ}02'$,东经 $106^{\circ}26' - 106^{\circ}30'$ 。区内沟沿线以上坡度为 $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$,海拔高度约 $1\ 534 \sim 1\ 824$ m。年降雨量 414.9 mm,但降水分配不均,1-3月降雨稀少,6-9月降水集中,降雨量占年降雨的70%以上。降雨的年际变化较大,在 634.7 mm(1984)~ 259.9 mm(1991)之间,年变率为24.6%。无霜期152 d,土壤为黄绵土,植被属森林草原向典型草原的过渡类型。实验地位于黑刺峁东坡中部,坡度为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$,海拔约 $1\ 650$ m。实验区为多年撂荒地,主要植物种类有长芒草(*Stipa bungeana*)、阿尔太狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、芨芨(*Artemisia giraldii*)、百里香(*Thymus mongolicus*)等。

1.2 观测项目与测定方法

1.2.1 气象资料 降雨量等气象资料来源于实验地附近的上黄生态试验站气象站。

1.2.2 土壤水分特征曲线 试验地为一个东偏南的缓坡地带,坡度约 10° 。在试验地附近,挖一深 4 m 的土壤剖面,土壤质地比较均一。在剖面中部(180 cm 和 200 cm 处)用环刀取原状土,采用离心机法测定土壤水分特征曲线。

1.2.3 根系分布深度 在7-8月的雨季,沿山坡挖一个 $1\text{ m} \times 2\text{ m} \times 4\text{ m}$ 壕沟,表层分为 $0-20$, $20-50$ cm, $50-400$ cm 每 50 cm 一层,分层取样,称量鲜(干)根量,测定根系分布状况。

1.2.4 土壤水分测定 在撂荒地沿山坡选择立地条件比较均一的地段,建立 20 m (长) $\times 5\text{ m}$ (宽)的标准径流观测场。在径流场中心地带安置两个相距 1 m 的 4 m 长的中子水分仪铝合金套管。安置前取土样,采用烘干法测定土壤水分,然后再用中子仪测定土壤水分,对两种测定结果进行对比、分析和校对。

采用 CNC503A(DR)型智能中子水分仪定期测定剖面土壤水分^[2]。测定前对中子仪进行了标定,标定方程为: $y = 55.76x + 1.89$, 式中: y ——容积含水量, x ——中子仪读数。测定时,每 20 cm 记录一次,中子计数时间为 16 s ,测定深度为 $0-400\text{ cm}$ 。野外定位观测从2002年起至2006年结束。每年从柠条开始发芽展叶的4月中旬开始(第一年为播种时)到落叶(10-11月),每隔 15 d 测定一次,定期测定剖面土壤水分。另外,根据天气预报,非定期地进行降雨前和降雨后土壤水分观测。

1.2.5 柠条林密度调查 柠条(*Caragana korshinskii*)为当地的乡土树种和主要的造林树种。2002年6月24日在标准径流场内进行翻土、平整土地和撒播柠条,建立播量为 $2.0, 1.5, 1.0, 0.5\text{ kg}$ 和对照(撂荒地)实验小区。撂荒地主要植物种类有长芒草、阿尔太狗娃花、芨芨、百里香。撂荒地植物平均高 34 cm ,植被稀疏,生物量 75 g/m^2 ,地表生物结皮严重。9月中旬采用样线法调查不同播量柠条幼林密度。调查时在每个小区中部沿小区长(20 m)每隔 1 m 布设一个样方,每个小区调查9个样方,样方面积为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 。并设立固定样方调查保存率和生长状况。

1.3 实验数据处理

实验数据采用 Excel 进行统计处理和数理分析。土壤水分利用深度采用生长初期或年初和末期或年末剖面土壤水分垂直变化曲线确定;用水量采用生长初期和末期剖面土壤水分储水量之差,即土壤储水量变化近似地反映柠条利用土壤水分。

2 结果与讨论

2.1 土壤水分特征曲线

通过对实验地土壤剖面观察,发现土壤剖面结构比较均匀。土壤容积含水量(%)与水吸力关系可用经验公式 $Y = aX^b$ 进行描述^[3]。水吸力(Pa , 105)与土壤容积含水量(%,%)的关系为($R^2 = 0.8382$):

$$= 2.0 \times 10^{-6} - 5.3559$$

对测定结果的分析发现,在低吸力范围($< 2 \times 10^5\text{ Pa}$),实测值与拟合值相差较大。在高吸力范围($> 2 \times 10^5\text{ Pa}$),随着基质吸力增加,土壤水分的测定值与拟合值非常接近。据此预测,当基质吸力为 $1.5 \times 10^6\text{ Pa}$ 时,芨芨系数约为 8.6% 。

2.2 撂荒地剖面土壤水分动态变化

2002年降雨量为 384.8 mm ,低于多年平均值,属于偏早年。播种时,剖面土壤水分平均值为 12.9% 。 $0-390\text{ cm}$ 土层的土壤储水量为 503.9 mm 。生产实践中一般利用雨季播种以提高柠条发

芽率和成活率。当然也不能太迟,否则会影响柠条幼苗生长和越冬。2002 年 6 月上旬和下旬分别出现了 46.4 mm(8 日)和 49.5 mm(22 日)的大降雨,土壤墒情较好,24 日翻地平整并播种。此后,受降雨的影响,撂荒地剖面土壤储水量经过短暂的提升后,由于地被植物稀疏,在高温和大风的共同作用下,撂荒地土壤蒸发剧烈,同时受生物结皮的影响,地表径流量大且土壤水分入渗量少,因此土壤储水量一直呈现波浪式下滑。到 2002 年 11 月 29 日,撂荒地土壤水分储量降到 450.2 mm,剖面土壤水分平均值为 11.4%。6 月下旬到 11 月下旬土壤水分储量平均值为 478.5 mm,标准差为 81.5 mm,变异系数为 17%。对播种前(6 月 24 日)和落叶后(11 月 29 日)撂荒地剖面土壤水分垂直变化对比,发现撂荒地 0—180 cm 土层土壤储水量下降,但下降的土层较浅,一旦降雨来临,土壤水分多可能得到恢复。

2.3 不同播种量柠条林地剖面土壤水分变化

经过调查,各播量小区柠条幼林密度见表 1。以 1.5 kg 小区为例,从播种到生长末期剖面土壤水分变化见图 1。2002 年不同播种量的柠条幼林地剖面土壤水分状况出现不同程度旱化:在 0—390 cm 土层,高密度(2.0 kg)小区从播种到生长末期剖面土壤储水量由 469.5 mm 下降到 397.2 mm,下降了 72.3 mm;1.5 kg 小区土壤水分下降了 51.3 mm,对照(撂荒地)下降了 53.7 mm;低密度的 1.0 kg 小区下降了 42.8 mm,0.5 kg 小区下降了 22.8 mm。如果以播种期间撂荒地土壤储水量降低值作为正常的参照值,则只有高密度(2.0 小区)出现土壤旱化,因此柠条林最大播种量为 1.5 kg/100 m²,相应的密度为 6 500 株/100 m²。

表 1 柠条林播种量及其密度

项目	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	撂荒地
播量/(kg·100m ⁻²)	2.0	1.5	1.0	0.5	0
密度/(株·100m ⁻²)	6 700	6 500	5 100	2 500	0

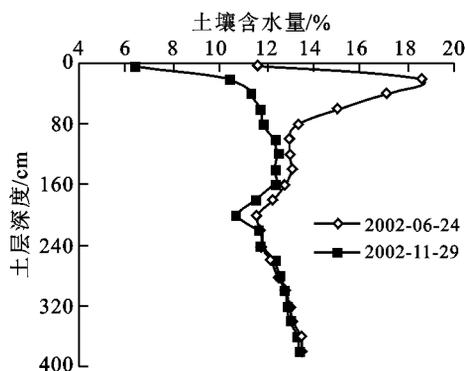


图 1 1 年生柠条地土壤水分变化

2.4 植物土壤水分利用深度

为了迅速绿化地表,以最大播量为 1.5 kg/100 m² 时的柠条林分析柠条林利用土壤水分深度的季节变化(见图 2)。随着柠条林的生长,根系吸水量增加,使剖面土壤水分下降。据此,可以根据生长初期和末期剖面两条土壤水分垂直变化曲线的交点处距地表的距离,确定植物利用土壤水分最大深度。2002 年内柠条林根系利用土壤水分深度季节变化如图 2 所示。从图 2 可以看出,播种时,剖面土壤水分含量较高。随着柠条的发芽、生长和发育,根系加深,根量逐渐增加,植物利用土壤水分深度也相应增加。从播种时的 2 cm 左右增加到 9 月 1 日的 90 cm,10 月 15 日的 110 cm,11 月 1 日的 170 cm,到 11 月 29 日,柠条利用土壤水分深度达到 220 cm。由此可见,柠条生命力旺盛,吸水力较强。为了在有限的时间内充分利用自然资源,定居下来形成群落,柠条当年利用土壤水分深度达到 220 cm。由于植株较小,耗水量较少,因此林地剖面土壤水分含量较高。

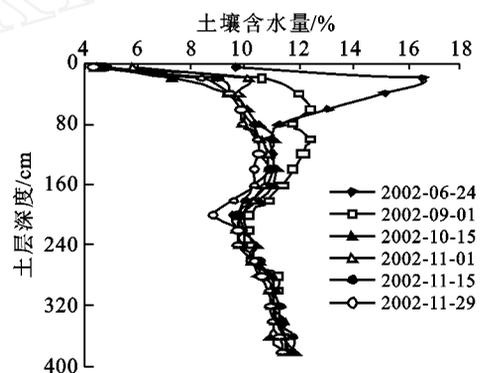


图 2 2002 年植物利用水分土壤深度演化图

2.5 植物利用土壤水分深度和耗水量的年变化

穿过林冠的降雨量分为林冠截留量、干流和穿透降雨^[4]。柠条幼林个体小,不易测定干流量和穿透降雨计算林冠截留和土壤水分消耗量,而植物利用土壤水分深度内的土壤储水量实质是降雨补给量,植物吸收利用量和土壤蒸发量的综合反映,因此可以采用土壤储水量的变化值来相对地反映土壤水分消耗量。随着柠条的生长,植物个体增加,耗水量增加。为了满足植物耗水需要,根系深度逐渐增加,利用土壤水分深度和耗水量也发生变化。1 年生柠条根系达到 220 cm(如图 1 和图 2 所示)。1 年生柠条林生长季 0—390 cm 土层(下同)土壤储水量由 519.2 mm 下降到 467.9 mm,储水量降低了 51.3 mm。在 2003 年,2 年生柠条林生长末期剖面土壤水分大于生长季初期剖面土壤水分(见图 3),这不能反映土壤水分利用情况。通过对 2002 年 11 月到 2003 年 11 月土壤

水分储水量动态变化得知,由于 2003 年 6 月 15—30 日,植物耗水量较大,虽然有降雨补给,但是林地土壤储水量已达到一年内的最低值,此时柠条根系利用土壤水分深度应该为最大(见图 4)。

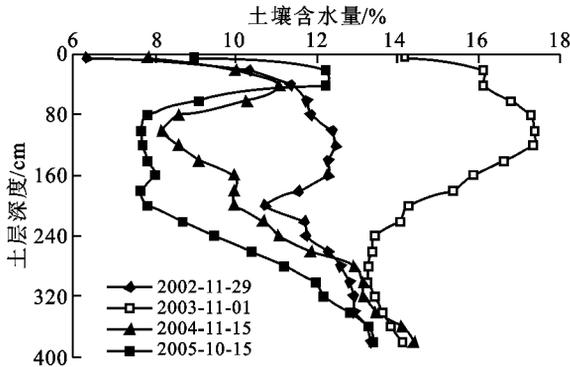


图 3 2~4 年生柠条地土壤水分利用深度变化

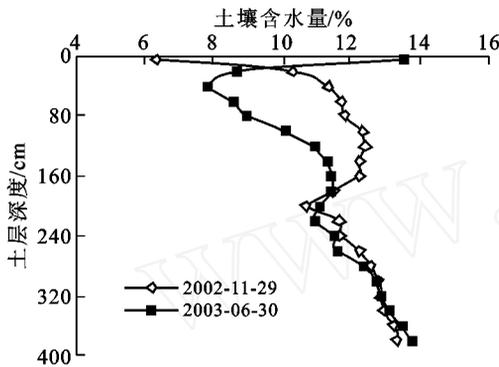


图 4 2 年生柠条利用土壤水分深度

通过分析,最上部根(20 cm)的交点是由近日的降雨形成的,不能完全反映土壤水分利用深度,而下部的两个交点是由于根系吸水(180 cm,中部)和剖面土壤水分上移(320 cm,下部)形成的,因此柠条林根系利用土壤水分深度应该为 320 cm。同时根系调查发现,2 年生柠条根系深度为 260 cm,柠条根系分布深度和根系利用土壤水分的深度不一致,这说明根系利用土壤水分深度包括根系分布深度以及根系吸水引发土壤水分运移而(在根冠外)形成的土壤水分低值区,前者为根系下扎深度,后者为根系影响深度^[5]。根系利用土壤水分深度土壤储水量由 462.8 mm 增加到 585.5 mm,增加了 122.8 mm;2003 年年末和 2004 年剖面土壤水分利用深度可能大于根系分布深度。受丰水年(2003 年)高频率降雨补给的影响,2 年生生长季柠条地土壤初始含水量较高,3 年生柠条林土壤水分利用深度仅为 200 cm,生长季土壤储水量由 519.2 mm 下降到 467.9 mm,储水量下降了 99.7 mm;4 a 以后,柠条根系利用土壤水分深度超

过了 400 cm。4 年生柠条生长季土壤储水量由 410.0 mm 下降到 392.1 mm,下降了 17.9 mm。5 年生柠条生长季土壤储水量由 370.9 mm 下降到 320.1 mm,下降了 41.7 mm。萎蔫系数不是一个确定的值,而是一个很小的范围^[6]。当基质吸力为 1.5×10^6 Pa 时,容积含水量 8.6% 可能是土壤萎蔫系数的上限值。如果以土壤含水量低于萎蔫系数(容积含水量 8.6%)上限值作为土壤干层的划分标准,那么在 2004 年 10 月,3 年生柠条地 100 cm 土层土壤含水量低于萎蔫系数(见图 3),4 年生林地土壤旱化严重;5 年生柠条地剖面 60—300 cm 土层出现土壤干层,这个深度超过丰水年降雨最大入渗深度(290 cm),此时需要控制柠条密度和生长,实现林地土壤水资源可持续利用。

3 结论

柠条利用土壤水分深度从播种时的 2 cm 左右,增加到 90 cm(9 月 1 日),到 110 cm(10 月 15 日),到 170 cm(11 月 1 日),到 210 cm(11 月 15 日),至 11 月 29 日,柠条利用土壤水分深度达到 220 cm;柠条利用土壤水分深度随林龄的增加而增加,除受 2003 年丰水年的影响,2 年生柠条地土壤储水量增加外,柠条利用土壤水分深度和土壤储水量也随林龄的增加而下降。在 2004 年生长末期,3 年生林地土壤剖面出现土壤含水量低于萎蔫系数的土层。4 年生林地剖面土壤旱化严重,5 年生林地剖面 60—300 cm 土层土壤含水量低于萎蔫系数,此时需要控制柠条林密度和生长,实现林地土壤水资源可持续利用。

[参 考 文 献]

- [1] 严登华,王浩,王芳,等.我国生态需水研究体系及关键研究命题初探[J].水利学报,2007,38(3):267-273.
- [2] 王贵彦,史秀棒,张建恒,等.TDR法、中子法、重量法测定土壤含水量的比较研究[J].河北农业大学学报,2000,23(3):23-26.
- [3] 杨文治,邵明安编著.黄土高原土壤水分研究[J].北京:科学出版社,2000:30-114.
- [4] Vernimmen R R E, Bruijnzeel L A, Romdoni A, et al. Rainfall interception in three contrasting lowland rain forest types in Central Kalimantan, Indonesia[J]. Journal of Hydrology,2007,340:217-232.
- [5] 王浩,杨贵羽,贾仰文,等.土壤水资源的内涵及评价指标体系[J].水利学报,2006,37(4):389-394.
- [6] Veihmeyer F J. The Availability of soil moisture to plants:results of empirical experiments with fruit trees [J]. Soil Science, 1972,114(4):268-294.