

黄土高原水蚀风蚀交错带 柠条幼林地土壤水分动态变化

曾 辰^{1,2}, 邵明安^{2,3}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心
黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 沿坡面布点, 通过中子仪观测人工柠条幼林坡地小区土壤含水量的垂直变化, 并对储水量的时空变化进行模拟和预测。结果表明: 柠条幼林地上、中、下不同坡位 0~400 cm 土壤剖面储水量动态变化趋势一致, 即雨季迅速增加, 冬季变化较小, 春季至下一个雨季初迅速下降。柠条幼林坡地土壤剖面储水量表现为从坡顶至坡底呈逐渐增大的趋势。土壤水分消耗量从坡顶至坡底也呈逐渐增大的趋势。柠条地土壤储水量与坡面位置和时间关系可用一个二元三次多项式来表达。

关键词: 黄土高原; 水蚀风蚀交错带; 柠条林坡地; 土壤水分; 变化模拟

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)06-0155-04

黄土高原北部水蚀风蚀交错带是黄土高原水土流失最为严重的地区之一, 植被恢复成为该地区生态环境建设的核心内容。柠条 (*Caragana korshinskii*) 作为一种广泛分布的乡土灌木树种, 由于其根系发达、耐旱性强, 已成为该地区营造水土保持林和防风固沙林的主要灌木树种。同时, 柠条嫩枝叶可作为家畜饲料和绿肥, 老枝还可以作为燃料^[1], 因此柠条林既是良好的生态林, 还可以作为经济林和薪炭林, 所以, 在当前半干旱地区的退耕还林还草中特别受到青睐。但是, 据已有研究表明, 多年生柠条林地土壤水分多数处于极度亏缺的状态, 柠条地深层土壤存在不同程度的干化现象^[2~5], 水分已成为半干旱地区柠条生长发育的主要限制因子。基于此, 我们通过监测新栽种的 2~3 a 生人工柠条幼林小区土壤水分的动态变化, 研究柠条生长初期土壤水分的变化规律, 并探讨土壤储水量与时间、坡位的关系, 以期与当地与相关地区的柠条林建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本试验设于黄土高原北部神木县六道沟小流域, 流域面积 6.89 km², 地处毛乌素沙漠东南部边缘, 是水蚀风蚀交错带的强烈侵蚀中心^[6]。本区年平均气温 8.4℃, 1 月平均最低温 -9.7℃, 7 月最高温 23.7℃。年平均降水量 437.4 mm, 其中 6~9 月

份的降水占全年降水量的 77.4%, 年蒸发量 1 400 mm 左右, 属于半干旱森林旱原带^[7]。该区地貌类型为片沙覆盖的梁峁状黄土丘陵, 地面组成物质以第四纪黄土沉积物为主^[8]。

1.2 研究方法

本试验采用野外人工径流小区移植柠条实生苗的方法建立观测场。小区的规格为: 长 61 m、宽 5 m, 坡度为 13°~14°, 坡向北偏西, 土壤类型为黄绵土。柠条为 2004 年 4 月底栽种的一年生柠条幼苗, 株行距均为 70 cm, 栽种密度为 600 棵/hm²。小区从坡顶至坡脚等距离布设 11 根中子管, 坡面间距为 6 m, 中子管埋深一般为 4.0 m, 其中在坡地上、中、下 3 个部位各有一根中子管埋深为 6 m。从 2004 年 7 月开始用中子仪监测各点土壤含水量的垂直动态变化。测深, 100 cm 以上每 10 cm 测量一次, 100 cm 以下每 20 cm 测量一次。观测的时间间隔为 7~9 月份 15 d 左右一次, 其它月份 30 d 左右一次。中子仪采用北京超能科技公司生产的 CNC503B (DR) 中子仪。降雨量采用标准雨量桶观测, 观测期间各月降雨量如表 1 所示。

表 1 试验区观测期内各月降雨量(mm)
Table 1 Monthly rain fall in the study area

年份	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	合计
Year	April	March	June	July	Aug	Sept	Total
2004	2.85	66.4	24.75	95.3	183.6	20.3	393.19
2005	7.36	25.9	9.00	73.5	60.5	56.3	232.56

收稿日期: 2006-06-26

基金项目: 中国西部环境与生态科学重大研究计划(90102012); 西北农林科技大学“创新团队”计划

作者简介: 曾 辰(1982-), 男, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 主要从事土壤物理方面的研究。

通讯作者: 邵明安, 研究员, 主要研究方向为土壤物理。

2 结果与分析

2.1 柠条地土壤水分的时空变化

2.1.1 柠条地土壤储水量随时间的变化 我们假设第一次观测土壤水分的时间(2004 年 7 月 8 日)为第 0 天,以时间为横坐标,以观测点距坡顶的距离为纵坐标,得到土壤水分随时间与坡面位置变化的等值线图如图 1 所示。从图 1 可以看出,柠条地土壤储水量的变化具有明显的时空变化规律。从 2004 年 7 月初到 2005 年 7 月底,柠条地上、中、下坡位 400 cm 土壤剖面储水量动态变化趋势一致。以 25 m 处坡位为例,土壤储水量从 2004 年 7 月初(0 d)508.9 mm 开始逐渐增加,到 9 月初(62 d)雨

季末达到最大,为 537.9 mm。从 2004 年秋季末(10 月初,86 d)柠条落叶到 2005 年初春(3 月底,260 d)柠条开始萌发前,由于天气寒冷,土壤蒸发较少,且柠条进入休眠期,水分消耗较少,因此土壤剖面储水量变化较小。而从 4 月初开始,由于气温回升、土壤蒸发量增大,加之地表植被开始生长发芽,耗水量增大,整个坡面土壤储水量迅速下降,到 7 月份柠条盛叶期降至最低点,为 403.8 mm。这与其它学者研究的多年生柠条土壤水分变化的结果相一致^[9]。因此可以得出,柠条整个生长期土壤储水量的变化受植被、降水和气候的影响,具有明显的季节性,有一定的时间变化规律。

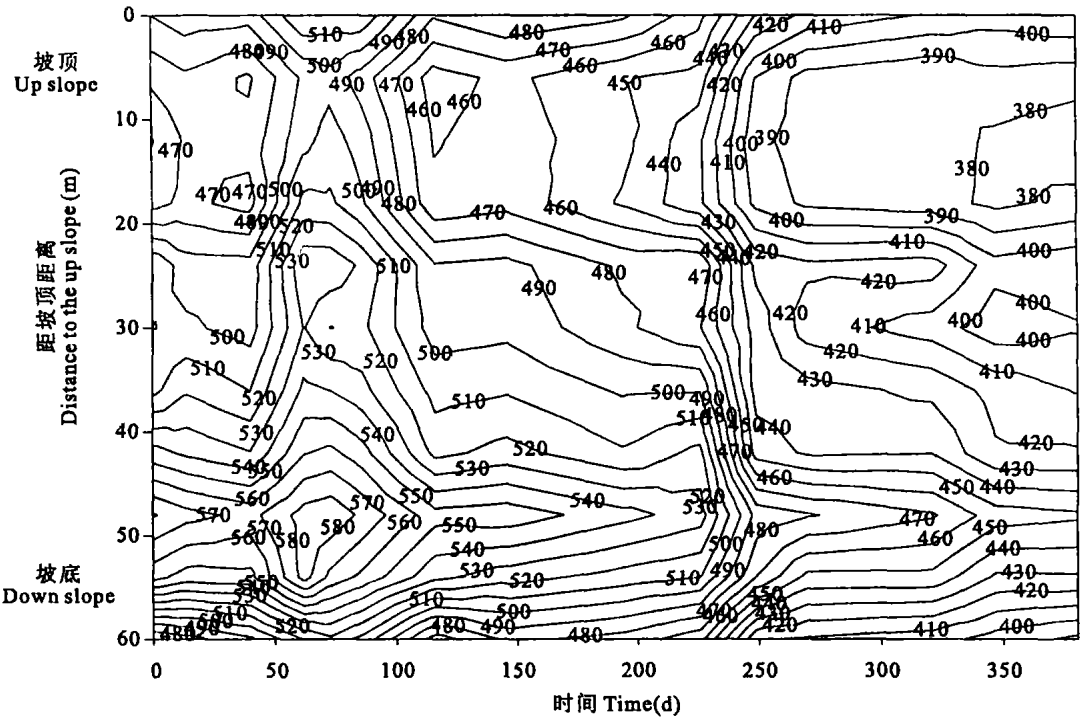


图 1 土壤水分随时间与坡面位置的变化(图中等值线数据单位为 mm)

Fig. 1 Change of soil moisture with position and time elapse

2.1.2 柠条地土壤储水量的空间分布 由图 1 可见,在任何测定时间内,柠条地土壤剖面储水量均表现为从坡顶至坡底呈逐渐增大的趋势。在 2004 年 9 月初(62 d)雨季末柠条地土壤储水量达到最大时,上、中、下坡位土壤储水量分别为 500.76 mm、539.72 mm 和 587.44 mm。从 2004 年 10 月到 2005 年 7 月,不同坡位储水量变化相同,整个坡面储水量均呈减少趋势,但各个坡位储水量变化幅度不同。我们以上坡位土壤剖面储水量为基准,得到中、下坡位储水量相对于上坡位的变化(见图 2)。由图 2 可见,在 2004 年雨季(7~9 月)下坡位土壤

储水量增加最多,中坡位其次,上坡位相对最少,下坡位土壤水分条件最好。但从 2005 年 3 月底开始,下坡位土壤储水量减少幅度最大,中坡位其次。2005 年 7 月与 2004 年 7 月柠条栽种初期相比,上、中、下坡位土壤储水量分别减少 86.37 mm、97.72 mm、124.82 mm,从坡顶到坡底,柠条坡地土壤储水减少量呈增大的趋势。我们把观测期内不同坡位柠条的平均植株体积(高×长×宽)的变化描绘于图 3,从图 3 可以看出,在 2005 年 7 月底柠条盛叶期前,柠条的平均植株体积从坡顶到坡底呈增大的趋势。下坡位由于水分条件较上坡位好,柠条生长速

度较上坡位快,因此,柠条幼林耗水量从坡顶到坡底呈增大的趋势。但由于 2005 年 8 月份由于降水较往年稀少(见表 1),下坡位由于柠条大量耗水且没有降水补充而导致土壤水分急剧减少,已接近上坡位的土壤水分状况,因此导致后期下坡位柠条幼苗长势受水分影响开始弱于上坡位。而在正常年份的雨季,由于坡面土壤初始含水量的差异、降雨在坡面

上的再分配以及侧向沿坡面侧渗的作用,坡下位接受的降雨量比坡上部要多^[10~14],表现为坡面土壤储水补给量从上到下的逐渐增加。因此,柠条幼苗长势沿坡面方向上应该从坡顶到坡脚呈增大的趋势,而整个坡面土壤储水量从上个雨季末到下个雨季初一直呈下降趋势。

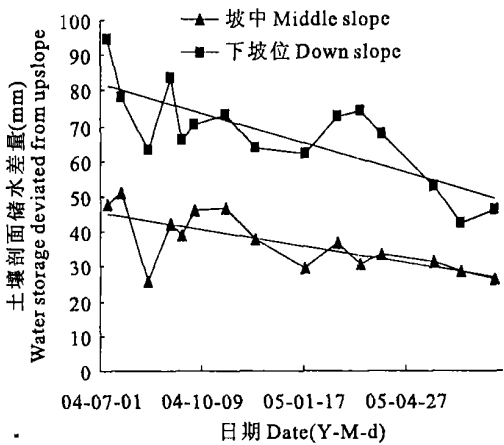


图 2 不同坡位土壤剖面储水差量变化
Fig. 2 Dispersion change in soil water storage at different site of the slope

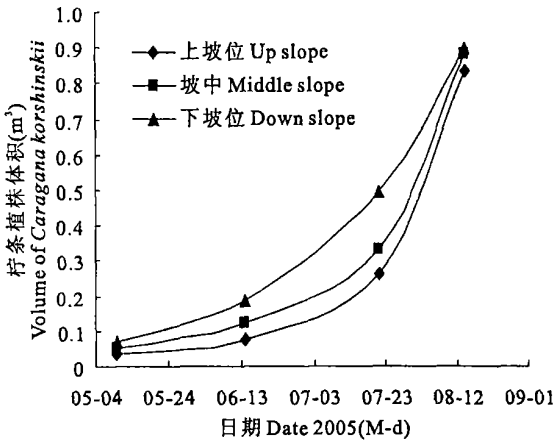


图 3 柠条植株体积随时间的变化
Fig. 3 Volume of *Caragana korshinskii* with time elapse

2.2 柠条地土壤水分动态模拟与预测

从前文可知,柠条地土壤储水量有这样的规律,即:①土壤储水量从上坡位到下坡位逐渐增加,与位置有关,呈线型关系;②土壤储水量最大值出现在雨季末,而后逐渐减少,直到下个雨季初,土壤储水量才又迅速增加,如此反复,随时间呈波动关系。因此我们尝试建立一个储水量与位置和时间的函数关系,以期快速预测坡面上任意位置土壤储水量随时间的变化。以第一次测量土壤水分的日期(2004 年 7 月 8 日)为第 0 天,假设预测的时间为第 x (d);以坡底为起点,距坡底的距离为 y (m);某点 400 cm 土壤储水量为 (mm),假设该年降雨量与年平均降雨量相等,对 2004 年 7 月至 2005 年 7 月份(381 d)的 176 个土壤水分数据进行拟合,拟合公式为:

$$\theta = ax^3 + bx^2 + cx + dy^3 + ey^2 + gy + i$$

式中, a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 g 、 i 均为常数。拟合结果见表 2。从拟合结果来看,拟合的决定系数较高 ($R^2 = 0.9066$),达到极显著水平 ($P < 0.00001$)。表明该方程能较好地模拟土壤水分的动态变化,同时利用该统计模型对 2005 年 8 月 28 日(416 d)的土壤储水量进行了预测,并与实测值进行了比较。预测结果也列于表 2。

表 2 柠条幼林地土壤水分时空变化的拟合与检测结果

Table 2 The fitted and tested results of spatial-temporal change in soil moisture for young *Caragana korshinskii* artificial shrubland

拟合结果 Fitted results	检测结果 Tested results		
	距坡底距离 Distance to the down slope (m)	实测值 true value (mm)	预测值 Forecast value (mm)
a	8.96×10^{-6}	60	399.68
b	-5.81×10^{-3}	54	374.65
c	0.664	48	368.22
d	3.78×10^{-3}	42	375.50
e	-0.354	36	391.58
g	7.65	30	411.56
i	491.99	24	430.55
R^2	0.9066	18	443.65
Sig.	0.0000	12	445.96
		6	432.57
		0	398.60

注:测定时间为 2005 年 8 月 28 日 Note: Measurement date: 2005-08-28.

公式计算结果与实测结果相接近,计算精度较好,相对平均误差为 3.4%。实测值与预测值之间存在一个 13.8 mm 左右的差值,用 C 表示。 C 值是由降水年份差异以及植物耗水所共同引起的,可

由多年降水量差值与 C 值的关系得出。由于本次试验对土壤水分监测的时间相对较短,因此忽略了降雨量的年际变化以及植物耗水量的差别,且 2005 年雨季降水量较正常年份偏少,导致预测值偏高,因此需要通过更长期的监测资料预测 C 值并通过 C 值的修正从而使该方法得到进一步的完善,修正后的拟合公式为:

$$\theta = ax^3 + bx^2 + cx + dy^3 + ey^2 + gy + i + C$$

通过 C 值的修正后预测值与实测值之间吻合较好。该方法与水量平衡法相比较,不仅可以快速预测不同时间土壤含水量的变化,而且还可以计算出任意坡面位置土壤含水量的多少,弥补了水量平衡法在空间上的不足,从而为不同时间不同坡面位置植被恢复方法提供一定的理论依据。

3 结 论

1) 柠条幼林地上、中、下坡位 400 cm 土壤剖面储水量动态变化趋势一致,可明显分为三个时期:雨季迅速增加期,冬季缓慢减少期,春季至下一个雨季初迅速下降期。

2) 柠条幼苗的生长速度从上坡位到下坡位呈逐渐增大的趋势。柠条幼林地土壤剖面储水量始终表现为从上坡位到下坡位逐渐增加的趋势,土壤水分的补给量表现为从坡顶向下逐渐增大的趋势,但是土壤水分的消耗量也表现出从坡顶向下逐渐增大的趋势。

3) 柠条地土壤储水量与坡位和时间的关系可以用 $\theta = ax^3 + bx^2 + cx + dy^3 + ey^2 + gy + i + C$ 进

行较好地拟和。

参 考 文 献:

- [1] 张阵万,杨淑性.陕西锦鸡儿属(*Caragana Favr.*)植物[J].西北植物研究,1983,(3):21—31.
- [2] 徐炳成,山 仑.半干旱黄土丘陵区沙棘和柠条水分利用与适应性特征比较[J].应用生态学报,2004,15(11):2025—2028.
- [3] 史竹叶.神木试区土壤水分资源状况,黄土高原水蚀风蚀交错带和神木试区的环境背景及整治方向[J].中科院西北水土保持研究所集刊,1993,18:132—134.
- [4] 徐炳成,山 仑.半干旱黄土丘陵区沙棘和柠条水分利用与适应性特征比较[J].应用生态学报,2004,15(11):2025—2028.
- [5] 韩蕊莲,李丽霞,梁宗锁.Sea buckthorn relative membrane conductivity and osmotic adjustment under drought stress[J].西北植物学报,2003,23(1):23—27.
- [6] 唐克丽,侯庆春,王斌科,等.黄土高原水蚀风蚀交错带和神木试区的环境背景及整治方向[J].中科院西北水土保持研究所集刊,1993,18:2—15.
- [7] 侯庆春.神木试区自然条件及环境整治综合分析[J].中科院西北水土保持研究所集刊,1993,18:136—137.
- [8] 张平仑,王斌科,唐克丽.神木试区环境特征[J].中科院西北水土保持研究所集刊,1993,18:16—22.
- [9] 徐炳成,山 仑.半干旱黄土丘陵区沙棘和柠条水分利用与适应性特征比较[J].应用生态学报,2004,15(11):2025—2028.
- [10] 蒋定生,刘梅梅,黄国俊.降水在凸一凹形坡上在分配规律初探[J].水土保持通报,1987,7(1):40—50.
- [11] 蒋定生.黄土高原水土流失与治理模式[M].北京:中国水利水电出版社,1997.
- [12] 郑粉莉.坡面侵蚀带侵蚀过程中的降水~土壤水转化规律,黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟[M].西安:陕西人民出版社,2000.125—141.
- [13] 陈洪松.黄土区坡地土壤水分运动与转化试验研究[D].杨凌:西北农林科技大学博士学位论文,2003.32—35.
- [14] 潘成忠,上官周平.黄土半干旱丘陵区陡坡地土壤水分空间变异性研究[J].农业工程学报,2003,19(6):5—9.

Soil moisture variation of young *Caragana korshinskii* artificial shrubland in the wind-water erosion crisscross region of the Loess Plateau

ZENG Chen^{1,2}, SHAO Ming-an^{2,3}

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

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Education, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Geographical Sciences and Natural resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The temporal-spatial variation of soil moisture content was studied through measuring soil moisture along the slope plot using neutron probe in a man-made *Caragana korshinskii* slope plot. In addition, temporal-spatial change of distribution of soil moisture content was simulated and predicted. The Results indicated that the change of soil moisture content in 0~400 cm depth was consistent from upslope to down slope. Soil moisture increased greatly in rainy seasons, changed a little in winter and decreased rapidly from spring to next rainy season. Soil moisture content increased along the slope from upslope to down slope, while soil moisture expense increased along the slope, too. The relationship between soil moisture content, slope position and time can be expressed through a binary cubic polynomial.

Keywords: the Loess Plateau; water-wind erosion crisscross region; *Caragana korshinskii*; slope land; soil moisture variation; soil moisture simulation