

太行山低山区主要植被下土壤贮水量和土壤水分利用效率研究

孙甲霞, 张万军, 曹建生

(中国科学院 遗传与发育所 农业资源研究中心, 河北 石家庄 050021)

摘要: 采用大型非称重式蒸渗仪法, 通过对太行山低山区主要植被黄背草、荆条及其混合植被下的土壤水分及以上3种植被水分利用状况的初步研究, 结果表明: 不同植被下土壤贮水量的季节变化随着降雨量及季节变化而变化, 植被生长期降雨量多的年份, 土壤贮水量大, 降雨量小的年份, 土壤贮水量小; 3种植被不同坡度下水分利用效率, 平坡大于斜坡, 丰水年, 混合植被水分利用效率最高, 枯水年, 黄背草水分利用效率最高。

关键词: 太行山低山区; 黄背草; 荆条; 土壤水分; 水分利用效率

中图分类号: S152.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2008)增刊-0173-05

Study on Soil Moisture Characteristics and Water Use Efficiency of Three Different Vegetations in the Low Taihang Mountains Areas

SUN Jia xia, ZHANG Wan jun, CAO Jian sheng

(Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Soil moisture characteristics and water use efficiency of three typical vegetation communities were analyzed using large non weighing drainage lysimeters. The vegetation communities include *Themeda japonica* community, *Tanaka Vitex negundo* var. *heterophylla* community and the mixture of them. The results showed that the soil water storage capacity under different vegetation communities was changed with the seasonal precipitation, the more precipitation of the year, the more soil water storage capacity; The WUE of slope vegetation communities was much more than flat slope, and the WUE of mixture of community was highest in the wet year, the WUE of *Themeda japonica* community was highest in the dry year. It indicated that the *Themeda japonica* community had higher drought resistance.

Key words: Low Taihang Mountains areas; *Japonica*(Willd.)*Tanaka*; *Negundo* VaT. *heterophy* *Ua* *Rehd*; Soil moisture characteristics; Water use efficiency

水分利用效率是节水农业的主要指标, 也是旱地农业研究的主要问题。自国内外开展作物水分利用效率的研究以来, 许多学者对其进行了概括和总结并取得了一系列的研究成果与进展^[1, 2]。从研究对象看, 主要是对冬小麦、玉米等作物的水分利用效率研究^[3], 对蔬菜也有一定的研究^[4]。从研究的尺度看, 包括单叶、个体、群体三个水平^[5, 6]。然而植被水分利用效率的研究还较少^[7]。太行山区, 是华北平原和首都北京的重要生态屏障和地上水的主要来源, 对首都北京以及河北平原农区的生态环境和

生产条件有着决定性的影响。该区地处中国北方的半干旱半湿润地区, 水资源短缺日益严重, 水分是限制该地区植被恢复与重建的关键生态因子。而太行山低山区由于受自然、人为因素的双重影响, 植被破坏、干旱缺水更加严重。从山区植被与水资源平衡的角度出发, 研究太行山低山区自然植被的水分利用效率(Water use efficiency, WUE), 选择低耗水、高效率植被及其组成结构, 对于山区植被恢复、退耕还林还草等环境建设具有重要意义。

收稿日期: 2008-02-02

作者简介: 孙甲霞(1982-), 女, 山东济南人, 在读硕士, 主要从事生态水文研究。

通讯作者: 张万军(1955-), 男, 河北南宫人, 博士生导师, 主要从事山地生态水文生态工程研究。

1 试验地概况及研究方法

1.1 试验地概况

本试验在中国科学院太行山山地生态试验站进行。该站地处太行山低山区,位于河北省太行山东坡, E114° 15' 55", N37° 52' 45", 海拔 350 m。试验站代表范围包括河北省的 27 个县市、河南省的 15 个县市、山西省的 59 个县市和北京市的部分地区,总面积可达 10.5 万 hm^2 ^[8]。试验区属半干旱半湿润大陆性季风气候,雨热同期,多年平均降水量 570~620 mm,年均降水变率为 25%~30%^[9]。降水季节分配不均,其中雨季(7-9月)降水量占全年降水量的 67.8%,冬春季降雨较少。年均蒸发力为 1 934.6 mm。土壤主要为花岗片麻岩(部分地带为石灰岩和页岩)的土壤母质上发育起来的山地褐土。植被类型主要是低山丘陵地带阔叶林破坏后发育的次生旱生灌草丛,以荆条(*Negundo* Vahl, *heterophy* Ua Rehd.)、酸枣(*Z. jujuba* var. *spinosa* Hu)为主的灌丛群落,以黄背草(*Japonica* (Willd.) Tanaka)、白羊草(*B. ischaemum* (L) Keng)为主的草丛植被群落。

1.2 研究方法

对于 WUE 的研究方法,主要有直接测定法、气体交换率测定法、稳定性 C 同位素技术测定法^[10,16],各种测定方法都有其优缺点^[3]。根据现有条件选用直接测定法,即通过直接测定树木在某一阶段内消耗单位重量的水分所产生出的干物质来表示 WUE。它是测定水分有效性对干物质生产影响最准确的方法。该方法主要选用大型非称重式蒸渗仪来测定植被蒸散。如图 1 所示,非称重式蒸渗仪(又名渗漏型蒸渗仪)主体是四棱形立方体的栽培池。池的底部由钢筋混凝土组成,池四周及上部由砖混凝土构成,

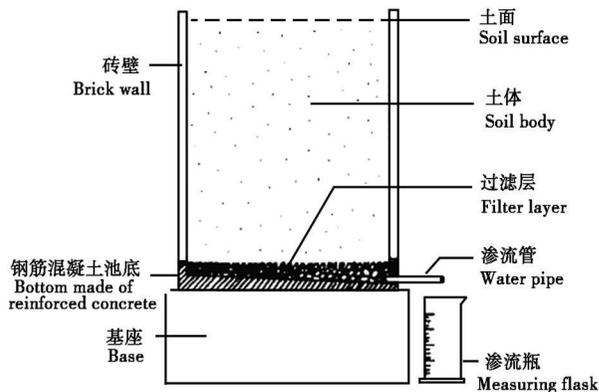


图 1 大型非称重式蒸渗仪结构

Fig. 1 The structure of large lysimeter which can not be weighted

混凝土内掺有防渗粉以防渗漏。池的底部有一渗流

管,排出渗入到池底的水量。池底是 10 cm 厚过滤层,由大砾石、小石子和沙子组成。过滤层以上装填土壤。为了防止大雨或暴雨水流溢出,土壤装填在池口以下 6 cm 处。为了保持其自然状态,在回填土壤时每 10 cm 一层回填,拍实。最后通体灌水。使其自然晾干落实。在每个蒸渗仪(内径尺寸长 2.5 m,宽 1.5 m,高 1.2 m)土体中 30, 60, 100 cm 处安装双针式时域反射仪测定土壤含水量。

1.3 试验设计及数据采集

非称重式蒸渗仪共 6 个。蒸渗仪中分别设太行山低山区具有代表性的黄背草群落、荆条群落和复合群落。黄背草群落是以多年生禾本科植物黄背草为优势种的植被群落,黄背草覆盖度为 85% 以上。荆条群落是以马鞭科小灌木荆条为优势种的植被群落,荆条覆盖度为 85% 以上。复合群落是以黄背草和荆条为优势种的植被群落,两种植物覆盖度均大于 40%。于 2003 年 10 月将选择好的自然植被,按照蒸渗仪的面积,将其切块整体移入蒸渗仪中(包括土壤和植被)。该试验为长期性观测试验,2004、2007 年为 2 个观测完整的植被生长周期。数据的采集包括:降雨量:由不受地表植被干扰的雨量计(RainCollector II, Dayis Instruments Corp., Hayward, CA, USA, 精度 0.25 mm)测得。雨量计用 HOBO 计数器实时监测降雨量和降雨历时。

土壤含水量:采用美国 Campbell 公司生产的 CS616 型双针式时域反射仪(TDR)监测,传感器探针水平放置。传感器与 CR10X 数据采集器相连。每 5 min 取样 1 次,每 20 min 取 1 次平均值并计数。所得土壤含水量为体积含水量。

地下渗流:用翻斗式流量计^[11]测量,用 HOBO 计数器记录整个过程,地下渗流量用下式计算:

$$Q = nV \quad (1)$$

$$D = Q/S \quad (2)$$

式中, Q 为渗流量(mL), n 为计数器记录的翻斗翻动的次数, V 为翻斗翻动 1 次的水量(mL), 翻斗对称; D 为渗流深度(mm), S 为蒸渗仪土体面积。

生物量:采用破坏性和非破坏性两种测量方法,在生长季末对黄背草群落进行刈割,然后称重(g);对荆条群落,分别用米尺和千分尺测量其生长季内株高(mm)和径粗(mm)变化量;对混合植被同时采用以上两种方法,再根据其所占比例求平均值。

2 结果与分析

2.1 降水量年内及年际变化

太行山自然植被的主要生长季是 5-10 月。由

表1可知, 2004年、2007年植被主要生长季的降雨量分别是全年降雨量的0.89, 0.8倍, 2004年植被主要生长季的降雨量主要集中在6-8月, 分别为109.6, 242.7, 181.4 mm, 而2007年5-10月各月的降雨量分布比较均匀, 最高月7月份为77.5 mm。

表1 两种不同降水年型下植被生长季及全年降水量情况

Tab. 1 Monthly precipitation at different growth stages for natural vegetation in two precipitation years mm

	植被生长季 Growing seasons						全年降雨量 Annual rainfall	5-10月降 雨量/全年 降雨量	各年/年 均降雨量 (595 mm)
	5月	6月	7月	8月	9月	10月			
2004年	36.8	109.6	242.7	181.4	71.5	2.8	723.60	0.89	1.22
2007年	39.9	72.65	77.5	48.2	52.9	37.8	410.95	0.80	0.69

2.2 土壤水分变化动态

2.2.1 土壤贮水量季节变化 大型非称重式蒸渗仪中不同植被下土壤贮水量的变化主要受气候条件和植被的影响。气候条件主要指降水、温度、光照强度等; 植被的地上、地下部分的生长状况及植被本身对降水的截留、入渗、蓄存方面也有显著影响。土壤贮水量表达式为: $S_w = d \times V$, 式中 S_w 为土壤贮水量

(mm), d 为土层厚度 (cm), V 为土壤体积含水量 (%)。

2004, 2007年蒸渗仪不同植被下土壤贮水量季节变化见图1, 2。经过分析研究发现, 蒸渗仪中不同植被下土壤贮水量的季节变化与降雨量的季节变化基本一致。2004年平坡蒸渗仪中(图2a), 黄背草、荆条下土壤贮水量7月份达到最大值, 本月降雨量最大, 达242.7 mm, 混合植被土壤贮水量8月份最大, 分析原因可能是由于黄背草和荆条根系在土

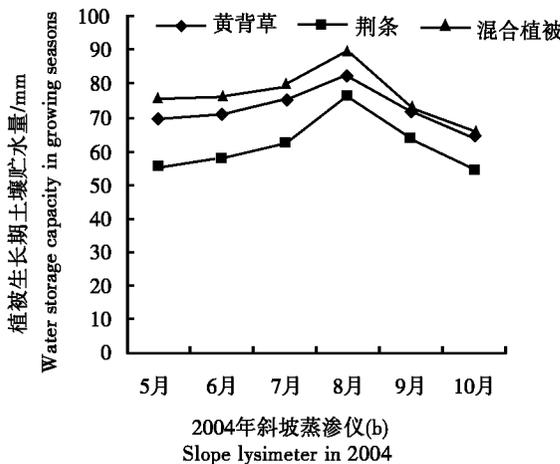
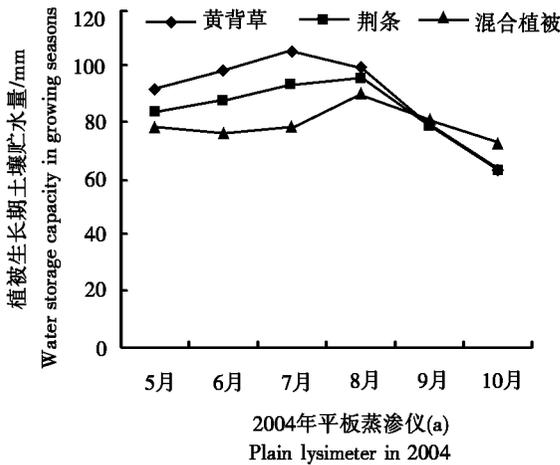


图2 2004年不同坡度、不同植被生长期内土壤贮水量变化

Fig. 2 The change of soil water content of different vegetations in different slope during the growing season in the year of 2004

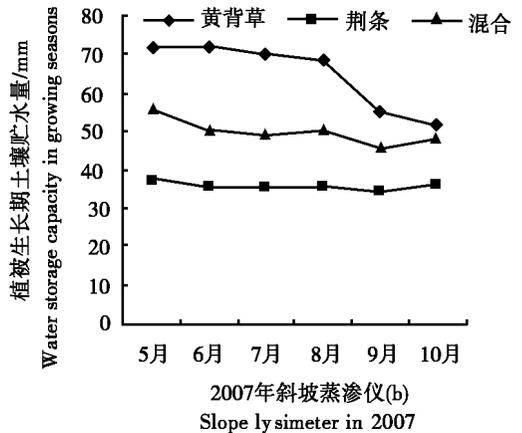
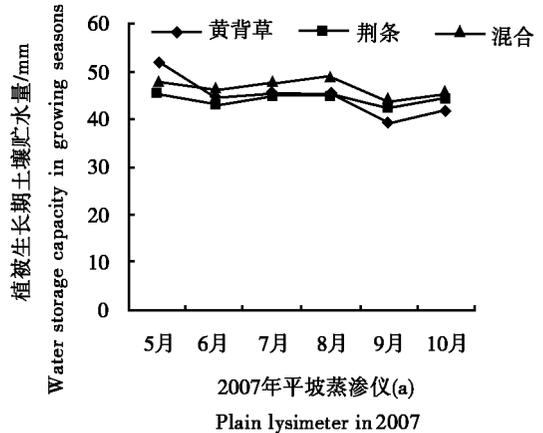


图3 2007年不同坡度、不同植被生长期内土壤贮水量变化

Fig. 3 The change of soil water content of different vegetations in different slope during the growing season in the year of 2007

壤中的分布较均匀,导致水分入渗较缓慢,土壤水分的累积有滞后性。斜坡蒸渗仪中(图2b)黄背草、荆条、混合植被的土壤贮水量在8月份达到最大值,分别为82.3,76.1,89.9 mm。由于降雨时有一部分雨水转化为地表径流,雨水转化成土壤水有一个累积过程,因此土壤贮水量最多的月份滞后于降水量最高的7月份。

2007年平坡、斜坡蒸渗仪(图3)中,由于植被生长季内降雨较少且各月分布均匀,因此各植被下土壤贮水量季节变化不大。5月初,植被开始生长阶段,斜坡、平坡蒸渗仪中黄背草的土壤贮水量较大,主要是由于没有对黄背草的地上部分进行刈割,覆盖在地表的干草对土壤有蓄水保墒的作用,因此生长季之初土壤贮水量较高,尤其是斜坡蒸渗仪。

2.2.2 土壤贮水量年际间变化 不同坡度蒸渗仪

表2 2004,2007年不同坡度、不同植被生长期土壤总贮水量

Tab.2 The corporation of soil water change during the growing season in different vegetation and solpe in the year of 2004, 2007

处理 Treatment	平坡 Plain			斜坡 Slope		
	黄背草	荆条	混合植被	黄背草	荆条	混合植被
2004年	538	505	476	433	370	460
2007年	268	265	279	390	215	298

2.3 植被水分利用效率

产量水平上的水分利用效率是单位耗水量的产量。自然植被水分利用效率定义为植被生物量(干质量)与蒸散量的比值。即: $WUE = Y / ET$

其中, WUE 为水分利用效率($g / (m^2 \cdot mm)$), Y 为生物量(g / m^2), ET 为蒸散量(mm)

2004年不同坡度蒸渗仪下植被水分利用效率如表3,平坡、斜坡蒸渗仪中植被水分利用效率混合植被>黄背草>荆条;同种植被不同坡度下,平坡蒸

表3 2004年不同坡度下三种植被水分利用效率

Tab.3 The WUE of three different vegetations in different slope in the year of 2004

	平坡 Plain			斜坡 Slope		
	黄背草	荆条	混合植被	黄背草	荆条	混合植被
生育期耗水量/mm ET	730	742	791	536	504	540
生物量/g Biomass	646	388	776	408	134	469
水分利用效率/($g / (m^2 \cdot mm)$) WUE	0.88	0.52	0.98	0.76	0.26	0.87

2007年不同坡度植被水分利用效率如表4,平坡、斜坡蒸渗仪下植被水分利用效率黄背草>混合植被>荆条;同种植被不同坡度下,平坡蒸渗仪中黄背草、混合植被、荆条的水分利用效率分别是斜坡蒸渗仪中的1.31,1.47,1.03倍。2004年与2007年的不同在于黄背草的水分利用效率最高,分析原因是由于2007年植被生长期降水量较少,且分布均匀(表1),而黄背草的根系主要分布于10~40 cm处

中不同植被下土壤贮水量的年际变化如表2所示,平坡蒸渗仪中,2004年黄背草、荆条、混合植被的生长期土壤贮水量分别是2007年同种植被的2.0,1.9,1.7倍;斜坡蒸渗仪中,2004年黄背草、荆条、混合植被生长期的土壤贮水量分别是2007年同种植被的1.1,1.7,1.5倍,即2004年蒸渗仪中植被生长期土壤贮水量总体大于2007年,主要原因是2004年植被生长期的降雨量较多,是2007年的1.3倍。而2004年平坡蒸渗仪土壤贮水量黄背草>荆条>混合植被,斜坡蒸渗仪混合植被>黄背草>荆条;2007年平坡蒸渗仪土壤贮水量混合植被>黄背草>荆条;斜坡蒸渗仪黄背草>混合植被>荆条。几种植被下的蒸渗仪土壤贮水量并无明显的变化规律,除荆条植被下的土壤贮水量在几种处理中较低之外。

渗仪中黄背草、荆条、混合植被的水分利用效率分别是斜坡蒸渗仪中相同植被的1.16,1.97,1.13倍。因此相同坡度下,混合植被水分利用效率最高,其次是黄背草和荆条;不同坡度下,平坡蒸渗仪中植被水分利用效率大于斜坡。由于2004年降水量多,混合植被被根系分布较均匀,能较好吸收利用土壤水分,斜坡蒸渗仪中,有一部分降雨转化为地表径流,土壤水分运移较平坡快,因此植被水分利用效率低于平坡蒸渗仪。

(表5),占整个剖面的87.3%,对来自降水的上层土壤水分能较好的利用。而荆条根系10~40 cm处占整个剖面的56.7%。荆条根系分布比较均匀,各个层面差距不大,所以混合植被、荆条水分利用效率次之。

2004,2007年是两个不同的降水年型。由表3,4可知,平坡、斜坡蒸渗仪中,2007年植被水分利用效率大于2004年。平坡蒸渗仪中,2007年黄背草、

荆条、混合植被的水分利用效率分别是 2004 年 3.4, 2.9, 2.0 倍; 斜坡蒸渗仪中, 2007 年黄背草、荆条、混合植被的水分利用效率分别是 2004 年的 3.0, 3.9, 2.2 倍。主要原因是由于植被蒸散量的不同主要是消耗土壤水不同引起的, 蒸散量主要受降雨量的影响^[14]。2004 年植被生长期降雨量达 411 mm, 2007 年只有 329 mm, 因此 2007 年植被耗水量小于 2004 年。但对于植被的生长影响不大, 一是经过几年的

生长发育, 这些植被已经具有较强的适应能力, 再是植被的根系分布也有一定的规律。如表 5, 丰水年, 降雨不仅能产生地表径流还能产生地下渗流, 荆条的各层根系能充分吸收土壤水分。枯水年, 如 2007 年降雨强度和降雨量都较小, 深层土壤含水量较小, 对根系分布均匀且较深的荆条的生长影响较大, 而对根系主要分布在浅层的黄背草影响不大。

表 4 2007 年不同坡度下 3 种植被水分利用效率

Tab. 4 The WUE of three different plants in different slope in the year of 2007

	平坡 Plain			斜坡 Slope		
	黄背草	荆条	混合植被	黄背草	荆条	混合植被
生育期耗水量/mm ET	428	435	464	314	296	317
生物量/g Biomass	1291	664	901	720	306	600
水分利用效率/(g/(m ² ·mm)) WUE	3.01	1.53	1.94	2.29	1.04	1.89

表 5 黄背草、荆条主要根系分布

Tab. 5 Root system of *Themeda japonica* and *Negundo* VaT. *heterophylla*

根系剖面 Root profile	0~ 10 cm	10~ 20 cm	20~ 30 cm	30~ 40 cm	40~ 60 cm	60 cm 下	%
黄背草	3.6	25.5	32.7	29.1	7.3	1.8	
荆条	6.8	18.9	17.2	20.6	22.3	13.7	

3 结论

对试验区黄背草、荆条及其混合植被的土壤水分特征及植被水分利用效率研究, 得出以下结论:

通过对土壤贮水量的研究发现, 土壤贮水量的季节变化与随降雨的季节分配及变化而变化; 降水较多的年份, 土壤贮水量多, 植被生长期降雨量少, 土壤贮水量少, 因此该地区土壤水分主要来源为降水; 通过植被水分利用效率研究发现, 平坡植被水分利用效率大于斜坡植被水分利用效率; 丰水年, 混合植被水分利用效率最高, 枯水年, 黄背草水分利用效率最高。不同的自然降水条件下, 土壤的贮水量及植被对水分的利用是不同的。这对于研究山区自然植被演替及植被重建具有重要意义。

参考文献:

- [1] 王会肖, 刘昌明. 作物水分利用效率内涵及研究进展[J]. 水科学进展, 2000, 11(1): 99- 104.
- [2] 张岁岐, 山 仑. 植物水分利用效率及其研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(20): 15- 20.
- [3] 王淑芬, 张喜英, 裴 冬. 不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 27- 32.
- [4] 韩淑敏. 不同灌水方式下温室青椒的耗水规律[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 54- 58.
- [5] 熊 伟, 王彦辉, 于澎涛. 林木水分利用效率研究综述

[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 417- 421.

- [6] 杨建伟, 梁宗锁, 韩蕊莲, 等. 不同干旱土壤条件下杨树的耗水规律及水分利用效率研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(5): 630- 636.
- [7] 宋炳煜, 旭 日, 乌江雨, 等. 羊草群落的水分利用[J]. 植物学报(英文版), 2003, 45(10): 1245- 1250.
- [8] 杨继镛. 太行山适地适树与评价[J]. 北京: 中国林业出版社, 1993: 1- 54.
- [9] 程树林, 郭迎春, 郭 康. 太行山燕山气候考察研究[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 7- 10.
- [10] 李秧秧. 碳同位素技术在 C₃ 作物水分利用效率研究中的应用[J]. 核农学报, 2000, 14(2): 115- 121.
- [11] 曹建生, 刘昌明, 张万军. 简易翻斗式自记流量计的制作及其应用[J]. 现代科学仪器, 2005(5): 40- 44.
- [12] 王 静, 程积民, 万惠娥, 等. 黄土高原芨芨草土壤水分特征及水分利用效率研究[J]. 干旱气象, 2004, 22(12): 51- 55.
- [13] 蒲金涌, 姚小英, 邓振镛, 等. 王位泰气候变化对甘肃黄土高原土壤贮水量的影[J]. 土壤通报, 2006, 12(6): 1086- 1090.
- [14] 杨 帆, 张万军. 太行山低山区不同植被群落蒸散与水量平衡研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(3): 434- 438.
- [15] 王斌瑞, 王百田. 黄土高原径流林业[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996: 145- 148.
- [16] Farquhar C D, Ehleringer J R, Hubick K T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis[J]. Annu Rev Plant Phys, 1989, 40: 503- 537.
- [17] Lindroth T V, Halldin S. Water-use efficiency of willow: variation with seasonable, humanity and biomass allocation[J]. J Hydrol, 1994, 156: 1- 19.