

半干旱黄土丘陵区土壤水分入渗速率的空间变异性

王月玲, 蒋齐, 蔡进军, 张源润, 季波, 董立国, 李生宝

(宁夏农林科学院 荒漠化治理研究所, 宁夏 银川 750002)

摘要: 选择宁夏南部半干旱黄土丘陵区的彭阳县中庄小流域, 针对其多年来水保措施的治理成效, 利用小型人工模拟降雨和双环注水法入渗试验装置技术, 对全流域不同生态恢复与重建地(水平沟、鱼鳞坑、水平梯田、人工牧草、天然草地), 不同地形地貌(坡向、坡位、坡度)进行了多点土壤入渗速率实测。试验结果表明, 该流域土壤入渗速率具有明显的坡面垂直变异规律, 随着坡度的增加, 土壤稳渗率增加, 阴坡土壤稳渗率高于阳坡, 但其初渗率小于阳坡; 坡位对稳渗率的影响表现为由坡上到坡下稳渗率逐渐提高。土地利用方式不同, 入渗速率也存在较大差异。

关键词: 入渗速率; 空间变异性; 土地利用类型; 土壤水分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)04-0052-04

中图分类号: S152.7

Spatial Variability of Infiltration Rate in the Semiarid Loess Hilly and Gully Area

WANG Yue-ling, JIANG Qi, CAI Jin-jun, ZHANG Yuan-run,

JI Bo, DONG Li-guo, LI Sheng-bao

(Institute of Desert Management, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

Abstract: In the semiarid loess hilly and gully area of Southern Ningxia Hui Autonomous Region, the small watershed of Zhongzhuang in Pengyang County was chosen in view of the management effects of soil and water conservation. By using a light rainfall simulator and double ring infiltrometers, infiltration rate was measured in the spots with different ecological restoration and reconstruction measures (level trench, scale pit, level terraced field, artificial forage grass, and natural pasture) and different landforms (slope aspect, slope position, and slope grade) in the whole watershed. Results show that infiltration rate presents the distinct vertical variation along slope. With slope degree increasing, steady-state infiltrating rate increases. Steady-state infiltration rate on shady slope is higher than that on sunny slope, but its initial rate is smaller than that on sunny slope. The influence of slope position on steady-state infiltration rate is that steady-state infiltration rate is gradually increased from the upper slope down to the bottom slope. For different landuse manners, infiltration rates also have significant differences.

Keywords: infiltration rate; spatial variability; landuse type; soil moisture

土壤渗透过程的研究是研究水土流失规律的一个重要方面, 渗透速率的大小反映了各类土壤的蓄水保水能力。土壤水分入渗过程和渗透能力决定了降雨过程再分配中的地表径流和贮水性, 在半干旱山区, 农林业发展的主要途径是充分有效地利用自然降水, 减少地表径流, 增加土壤水分。土壤渗透是水分循环的重要环节, 是土壤极为重要的物理特征参数之一。其渗透性能的好坏, 直接关系到土壤贮水量的多少, 对土壤侵蚀和土体水分再分布影响很大。已有研

究表明, 土壤渗透性能越好, 地表径流就越少, 土壤贮水能力越强, 水土流失就越轻。由于不同的土地利用方式和地形地貌, 即使在同一类型土地, 其渗透性能也会有很大差异, 因此分析不同土地利用方式和不同地形地貌的土壤入渗性能对该土地类型区的合理利用具有十分重要的意义。

目前进行野外土壤入渗产流测定的试验方法主要有人工模拟降雨法和双环法。双环法只能在平地中应用, 即使有一些用于坡地的文献报道^[1], 也只是在坡地

收稿日期: 2008-01-12

修回日期: 2008-02-06

资助项目: “十一五”国家科技支撑计划课题(2006BA C01A 07); 宁夏自然科学基金项目(NZ0764)资助

作者简介: 王月玲(1980-), 女(汉族), 宁夏回族自治区固原市人, 研究实习员, 主要从事黄土高原水土保持与生态环境建设方面的研究。

E-mail: nkwy1-1980@sohu.com.

上选择地势较平坦的位置进行测定,土壤入渗过程中地面始终有一层水层覆盖,是一种有压入渗(积水型入渗),且在整个人渗过程中土表并不遭受雨滴打击作用;而人工模拟降雨装置法虽然能模拟天然降雨的实际情况,能在野外坡地中应用,其土壤入渗产流前地面无水层覆盖,为无压入渗,且在整个过程中土表遭受雨滴打击作用,但是由于人工模拟降雨入渗试验装置在野外观测的限制性,体积大,携带不便,野外供水困难等缺点,根据该示范区的地形地貌条件,本研究仅对示范区不同坡度的入渗变化采用了人工模拟降雨入渗试验装置,其它地类都采用了双环注水法入渗试验装置,从微观角度探讨了小流域在不同土地利用及地形地貌条件下各点土壤入渗速率的空间变异规律。

1 研究地区的自然概况

示范区位于彭阳县东北 13 km 处的白阳镇中庄村,地貌类型属于黄土高原腹部梁峁丘陵地,地形破碎,地面倾斜度大,平均海拔在 1 600~1 700 m 之间。该村年平均气温 7.6 °C, ≥ 10 °C 的积温为 2 200 °C~2 750 °C,境内年蒸发量较大,干燥度(≥ 0 °C 的蒸发量)为 1.21~1.99,无霜期 140~160 d。降雨是雨水资源量的决定因素,项目区多年平均年降水量 420~500 mm,降水量集中且年内分配不均,主要集中在 7—9 月,而且降水的年际变差系数较大,雨量集中月份常以暴雨形式出现,易发局地暴雨洪水。土壤以普通黑垆土为典型土壤,土层深厚,土质疏松。植被类型以草原植被为基础,生长有长茅草、角蒿、铁杆蒿、星毛萎陵菜等;其次还有中生和旱中生的落叶阔叶灌丛、落叶阔叶林、草甸。人工植被以山桃、沙棘、山杏、山杨等为主,林草覆盖率在 50% 以上。该区域降水虽然不足以使得作物和植被摆脱水分亏损状态,但是,如果能够通过人为措施增加土壤的入渗或者提高径流降水的利用率,对作物产量的提高或者植被的生长仍然有着重要的意义。

2 研究方法

2.1 小型人工模拟降雨技术

2.1.1 试验小区处理 在示范区选择具有典型代表性的人为扰动(“88542”集流水平沟整地)+自然恢复(天然植被)的坡面,试验设 2 个坡度,分别为 25° 和 35°,采用自制组合侧喷式野外人工模拟降雨装置,通过喷头数量控制降雨强度,喷头采用短射程全圆喷头,雨滴下落高度 1.5 m,使降雨雨滴终点速度大小

接近于自然降雨速度^[2-3],降雨强度设计为 27.50 mm/h。人工模拟降雨有效承雨区内布设长 6 m,宽 4 m 的径流小区。在试验小区不同部位安置 6 个雨量桶,定时收取降雨,最后平均计算小区内的总降雨量和降雨强度。小区下端设集水槽,其余三边设隔离墙。产流后用水桶接收地表径流。小区一旦设定不得扰动,要保持原地貌特征。

2.1.2 观测项目及方法

(1) 环境因子调查。在人工降雨前,调查植被盖度、植物种类及其高度,记录坡度、坡位。

(2) 用人工降雨设备测量径流量、渗透量,用秒表测量开始产生径流的时间,产生径流后,每隔 20 min 测一次径流量,再通过已知的降雨量,可得到渗透量的数值,待相邻时段内径流量趋于平稳后停止再试验^[4]。

2.2 双环法

2.2.1 测试原理 双环注水法采用同心环入渗装置,同心环为二同心铁环,在选定的典型样地上,先将内外环打入土中 30 cm,再向支架上的 2 个给水瓶中加入一定量的水,接好活塞和橡皮管,一个向内环供水,一个向外环供水。向内外环同时放水,并开始计时,待水位到达 2 cm 时(即所标红印处),记录下降水量,以后每隔 5 min 记录下降水量。在此过程中,内外环中维持同样水层深度。试验一直进行到在相同的时间间隔内,给水瓶下降水量相同为止。大环直径 33 cm,小环直径 20 cm,通过记录各时段的入渗量来计算土壤入渗率变化过程。

2.2.2 样点布设 试验样点布设在白阳镇中庄村,土地利用类型主要有林地、草地、梯田、坝地等。其中林地包括“88542”水平沟整地、鱼鳞坑整地、水平阶整地,建植树种为山杏;草地有人工草地、天然草地;梯田种植农作物冬麦;坝地面积很小,树种为刺槐。在小流域断面按照坡向的不同分为阳坡、半阳坡、阴坡;同一坡向又可分为坡上部、坡中部、坡下部。

3 结果与分析

3.1 入渗速率沿坡面垂直变化规律

试验结果表明,该小流域土壤入渗速率具有十分明显的坡面垂直分布特征。同一坡面随着坡度、坡向、坡位的不同,土壤入渗速率存在较大的差异。

3.1.1 坡度对土壤入渗速率的影响 坡度对降水入渗的影响表现在两个方面,其一是降水在坡面上发生再分配;其二是随地面坡度的变陡,降水入渗速率呈明显变化(如图 1)。两条曲线初始时的入渗速率最大,随

着时间的推移,入渗速率逐渐减缓,差值逐渐减小,并最终趋于稳定。达到稳渗时,25°和35°坡面的稳渗率分别是0.205 mm/min和0.266 mm/min,入渗深度分别是37 cm和46 cm。图1中随着坡度的增加,土壤稳渗率呈现上升趋势和入渗深度增加,主要原因是下垫面植被的覆盖度存在明显差异^[5]。从植被特征看(表1),主要以中、旱生植物为主,植株生长比较矮小。说明该地处于植被演替过程的植被恢复初期,土壤总体仍然比较干旱^[6]。但是陡坡由于植被覆盖度比较高,人为干扰也少,土壤疏松,缓坡人为践踏,土壤夯实,减少了孔隙度,降低了水分的入渗能力,故陡坡的土壤稳渗率高于缓坡,另外,通过人工模拟降雨入渗试验也可以看出,土壤水分入渗曲线拟和方程的显著性极高。

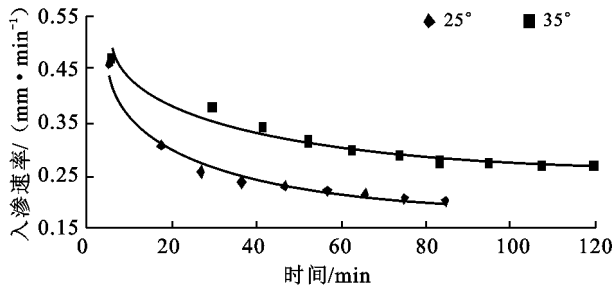


图1 不同坡度土壤入渗速率的变化

3.1.2 坡向对土壤入渗速率的影响 不同坡向土壤入渗性能也存在较大差异。试验结果表明,阳坡初渗率(5.57 mm/min)大于阴坡(2.89 mm/min),但随着时间的推移阳坡的土壤入渗率衰减快于阴坡,造成阴坡入渗率大于阳坡。从图2可以看出,当入渗最终趋于稳定时,阴坡的稳渗率(1.11 mm/min)大于阳坡(0.89 mm/min)。究其原因,阴坡植被状况好于阳坡且阴坡枯枝落叶层厚度优于阳坡,落叶后阴坡易于形成一层腐殖质,有利于降水入渗;阳坡表层土壤含水率较低,地表存在不同程度的干裂缝,入渗初始水分很快渗入土壤,初始入渗率较高,而阳坡植被、枯枝落叶状况较差,土壤表面易形成结皮,阻拦水分入渗,故而阴坡土壤入渗性能好于阳坡(表2)。

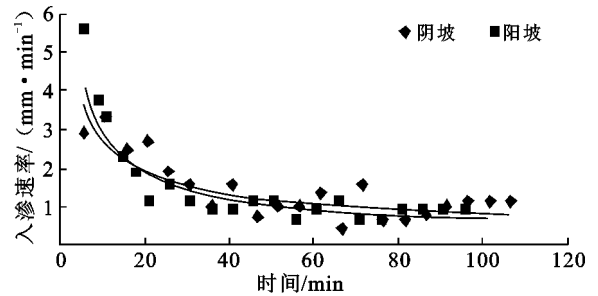


图2 鱼鳞坑不同坡向土壤入渗透速率的变化

表1 不同坡度植被特征

坡度	物种数/种	植被覆盖率/%	主要物种					
			达乌里胡枝子	苔草	裂叶萎陵菜	二裂萎陵菜	紫菀	野苜蓿
25°	14	60	19.5	20.7	28	9.8	7.3	—
35°	11	85	11.3	25.6	9.3	10.8	—	12.4

表2 不同坡向植被特征

坡向	物种数/种	植被覆盖率/%	主要物种					
			达乌里胡枝子	棘豆	地椒	二裂萎陵菜	狭叶苦苣菜	白蒿
阳坡	8	60	8	6	—	6	—	2
阴坡	12	85	16	5	4	—	9	—

3.1.3 坡位对土壤入渗速率的影响 同一坡向不同位置的入渗性能不同,由图3可以看出,集流水平沟造林整地后,不同坡位的土壤入渗能力由好到差的顺序为下部>中部>上部,土壤稳渗率自上而下逐渐增加。形成这一现象的根本原因是土壤初始含水率由上而下逐渐提高,再加之坡中、上部土壤稳定性小于下部,在坡上部和中上部土壤遭受侵蚀较为严重,造成中、上部表土被水流冲刷搬运到坡下部,致使土质疏松,而土壤容

重却正好相反,由于坡上、中部土壤在遭受侵蚀过程中自身结构变得愈加致密,容重增大,而坡下部接受中上部冲刷物后变得疏松,容重减小,因此由坡上部到坡下部稳渗率逐渐增高,也说明不同地形土壤在拦蓄雨水上能力是有差异的,可根据适地适树的原则,选择相应树种来治理山川,恢复生态(表3)。

3.2 不同土地利用方式下土壤入渗速率变化规律

由于土地利用方式不同,即使在同一类型土地,

其渗透性能也会有很大差异, 因此根据示范区土地利用类型和水保治理措施, 分别从工程措施、生物措施和耕作措施分析了不同地类的土壤入渗性能。

3.2.1 不同工程措施下土壤入渗速率变化规律 通过双环注水法对示范区不同工程整地的土壤入渗速率的测定结果表明(表 4), 坡地改造与重建后, 土壤的初始入渗速率在 4.93~ 18.68 mm/min 之间, 比自然坡面初始入渗速率 4.88 mm/min 提高 1.01~ 3.83 倍。入渗深度、初渗率、稳定速率的分别见表 4。入渗深度的排列顺序为“88542”水平沟> 鱼鳞坑> 淤地坝> 天然草地, 初渗率最高的是“88542”水平沟 18.68 mm/min, 最低的是自然坡面 4.88 mm/min, 淤地坝和鱼鳞坑分别为 15.44 mm/min 和 4.93 mm/min, 稳渗率最高的是最高的是“88542”水平沟 1.56 mm/min, 最低的是自然坡面 0.67 mm/min(从坡面径流考虑, 淤地坝就地拦蓄, 因此不予对比), 淤地坝

和鱼鳞坑分别为 0.22 mm/min 和 0.67 mm/min。这一结果说明采取水保工程整地后大幅度提高了土壤的入渗, 改善了土壤的入渗能力, 削弱了地面径流, 促进了降雨的就地入渗, 而在这 4 种样地中, “88542”水平沟在集雨拦蓄方面效果更佳。土壤入渗速率回归方程表现为幂函数形式, 回归系数 R^2 在 0.697~ 0.883 8 之间, 说明方程拟和效果较好。

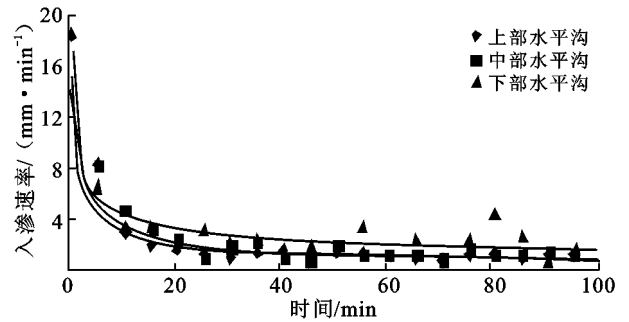


图 3 “88512”水平沟不同坡位土壤入渗速率的变化

表 3 不同坡位植被特征

坡向	物种	植被覆盖率/%	主要物种					
			达乌里胡枝子	冰草	裂叶萎陵菜	长芒草	紫菀	野苜蓿
上部	9	70	8.2	30.5	9.2	37.5	36.5	19.3
中部	11	72	11.5	27.0	8.8	46.0	17.5	26.8
下部	13	66	14.0	38.0	13.4	52.0	—	26.5

表 4 不同工程整地后土壤入渗率对比

立地类型	入渗深/cm	初渗率/(mm·min ⁻¹)	稳渗率/(mm·min ⁻¹)	渗透方程	相关系数 R^2
水平沟	65	18.68	1.56	$f = 12.669t^{-0.4371}$	0.697
鱼鳞坑	59	4.93	0.89	$f = 9.121t^{-0.5468}$	0.837
淤地坝	56	15.44	0.22	$f = 16.660t^{-1.0705}$	0.897
天然草地	54	4.88	0.67	$f = 5.858t^{-0.4855}$	0.789

3.2.2 不同耕作措施下土壤入渗速率变化规律 通过对采用不同生物措施和耕作措施的地类入渗试验表明, 农地、草地土壤入渗速率及入渗过程线存在较大差别(图 4)。由图 4 可以看出, 入渗速率变化快慢顺序依次为人工草地< 天然草地< 川台地 < 机修梯田。

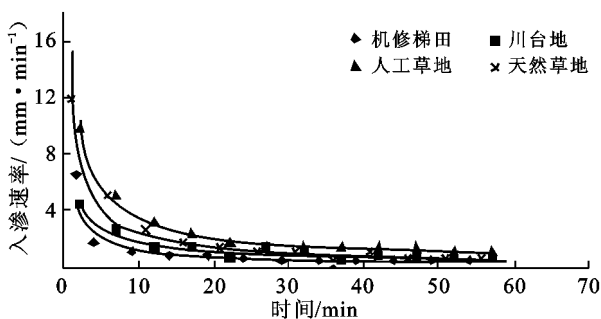


图 4 不同生物和耕作措施下土壤入渗速率变化

由于人工草地地表覆盖度高, 土壤疏松, 结构良好, 使得土壤入渗速度衰减最慢, 土壤稳渗率最高; 天然草地的土壤稳渗率大于农田, 也与地表植被覆盖率有关。而农田主要由于其地表无任何覆盖, 降雨几乎全部被拦蓄入渗, 再加上地表蒸发, 土壤下渗速度快, 稳渗率低。

4 结论

(1) 降雨对土壤水分改善有重要作用, 随坡度增大, 降雨入渗深度减小, 对土壤贮水量的补充也减小; 随雨强增大, 降雨入渗深度减小, 对土壤贮水量补充也减小。

(2) 不同坡向土壤入渗性能存在较大差异。试验结果表明, 阴坡土壤入渗性能好于阳坡。

(下转第 74 页)

(5) 综合分析得出, 直接与土壤混匀的方式优于先吸水后混匀的方式, 施用量以 64 g/株最佳。

4 讨论

本文主要研究了在平山县干旱半干旱地区单独施用土壤保水剂的效果。虽然连续多年施用土壤保水剂确实可以促进苗木的生长, 改善苗木光合作用, 提高土壤水分含量和养分含量。但是保水剂起作用的机理还需要进一步研究, 尤其是保水剂对土壤物理性质和土壤中微生物等的影响更需要进一步研究。另外在干旱半干旱地区使用保水剂还要综合考虑其经济效益。作为能够改良土壤水肥状况的一个重要技术措施, 保水剂必将在干旱半干旱地区得到广泛的应用。

[参 考 文 献]

- [1] 管秀娟, 武继承. 保水剂在农业上的应用及发展趋势 [J]. 河南农业科学, 2007(7): 13—15.
- [2] 牛育华, 李仲谨, 郝明德. 保水剂在黄土高原旱地农业应用效果的研究 [J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 11—12.
- [3] 庄文化, 冯浩, 吴普特. 高分子保水剂农业应用研究进展 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 265—269.
- [4] 马晓娣, 杨英华, 孙玉霞, 等. 保水剂在萝卜流体播种中的应用研究 [J]. 北方园艺, 2007(3): 1—3.
- [5] 冯耀祖, 杨培林, 钟新才, 等. 多功能保水剂在新海 16 号上的施用效果研究 [J]. 新疆农业科学, 2007, 44(3):

322—325.

- [6] 张翠翠, 刘松涛, 郭书荣. 保水剂对土壤和棉花根系生长发育的影响 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(5): 487—490.
- [7] 曹丽花, 赵世伟, 赵勇钢, 等. 土壤结构改良剂对风沙土水稳性团聚体改良效果及机理的研究 [J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 65—68.
- [8] 陈宝玉, 关楠, 黄选瑞, 等. 水分胁迫下保水剂对爬山虎和廊坊杨苗木水分生理生态特性的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(4): 7—11.
- [9] 张袖丽, 马友华, 张文明, 等. 保水剂对高羊茅种子萌发及幼苗生长发育的影响 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(10): 2871—2873.
- [10] Sojka R E, James A Entry, Jeffrey J Fuhrman. The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil [J]. Applied Soil Ecology, 2006(32): 243—252.
- [11] Melissa E Haveroen, Michael D MacKinnon, Phillip M Fdorak. Polyacrylamide added as a nitrogen source stimulates methanogenesis in consortia from various waste waters [J]. Water Research, 2005(39): 333—334.
- [12] Paul Walker, Tim Kelley. Solids, organic load and nutrient concentration reductions in swine waste slurry using a polyacrylamide (PAM) 2aided solids flocculation treatments [J]. Bioresource Technology, 2003(90): 151—158.

(上接第 55 页)

(3) 坡位对稳渗率的影响。土壤入渗能力由好到差的顺序为下部 > 中部 > 上部, 由坡上到坡下稳渗率逐渐提高。

(4) 土地利用方式不同, 其渗透性能有很大差异。从工程措施看, 稳渗率的排列顺序为: “88542” 水平沟 > 鱼鳞坑 > 天然草地 > 淤地坝。从耕作措施分析, 稳渗率的排列顺序为: 人工草地 > 天然草地 > 川台地 > 机修梯田。

[参 考 文 献]

- [1] 康绍忠, 张书函. 内蒙古敖包小流域土壤入渗分布规律的

研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(2): 38—46.

- [2] 陈文亮. 组合侧喷式野外人工模拟降雨装置 [J]. 水土保持通报, 1984, 4(5): 43—47.
- [3] 吴钦孝, 赵鸿雁, 韩冰. 黄土丘陵区草灌植被的减沙效益及其特征 [J]. 草地学报, 2003, 11(1): 23—26.
- [4] 于东升, 史学正, 吕喜玺. 低丘红壤区不同土地利用方式的 C 值及可持续性评价 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 71—76.
- [5] 吴钦孝, 赵鸿雁. 植被保持水土的基本规律和总结 [J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 13—15.
- [6] 张源润, 蔡进军. 半干旱退化山区侵蚀沟及坡面植被多样性研究 [J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 76—78.