

黄土丘陵区小流域土壤稳定入渗速率空间变异*

袁建平^{1,2} 张素丽² 张春燕³ 蒋定生⁴

(1 水利部水土保持监测中心, 北京 100053)

(2 北京师范大学资源与环境科学系, 北京 100875)

(3 山东汶上县林业局, 山东汶上 272500)

(4 中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

SPATIAL VARIATION OF STEADY WATER INFILTRATION RATES OF SMALL WATERSHED IN HILLY AND GULLY LOESS REGION

Yuan Jian-ping^{1,2} Zhang Su-li² Zhang Chun-yan³ Jiang Ding-sheng⁴

(1 Soil and Water Conservation Monitoring Center, MWR, Beijing 100053)

(2 Department of Resources and Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875)

(3 Forestry bureau of WenShang county, Shangdong Province 272500)

(4 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Yangling District, Shaanxi Province 712100)

关键词 土壤侵蚀, 入渗速率, 空间变异, 土地利用类型

中图分类号 S157.3

影响土壤降水入渗的主要因素是土壤自身的性质如土壤质地、容重、含水率、地表结皮、水稳性团粒含量、利用方式等。土壤质地不同^[1], 土地利用方式不同^[1,2], 土壤入渗速率均存在较大差异。周国逸等人的研究认为, 地表结皮的形成能很快降低土壤入渗速率, 使裸地土壤入渗速率减小到未形成结皮前的 4.84%^[3]; 蒋定生等研究黄土高原土壤入渗速率时发现, 土壤瞬时入渗速率与土壤容重、含水量、水稳性团粒含量间存在显著相关性^[4]。由于受野外降雨入渗试验装置的限制, 上述研究均停留在双环法试验或室内外人工模拟降雨定点小区实(试)验水平上, 而有关整个流域土壤入渗空间变异性问题却研究较少。蒋定生等^[4]利用双环法将黄土高原土壤入渗速率进行了系统分区, 而该项研究着重于宏观, 并且利用双环法测得的数值比实际情况要大得多^[1,4]。本文利用小型野外模拟降雨试验装置^[5], 以陕北安塞县纸坊沟小流域为例, 研究不同土地利用方式、地形地貌条件下该流域土壤入渗速率水平和垂直变化规律, 以期从微观角度探讨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。

* 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043605)和博士后科研基金共同资助

收稿日期: 2000-06-02; 收到修改稿日期: 2001-01-15

1 试验区概况及试验方法

纸坊沟小流域地处黄土高原腹地,属黄土丘陵沟壑区第二分区,面积 8.27km²,包括纸坊村、峙峪岫、瓦树塌三个自然村。

流域内绝大多数土壤为黄土母质上发育而成的黄绵土,占总面积的 77.1%,区内有梁峁地 289.5hm²,占总土地面积的 35%,其中小于 25°的缓坡地占 50.8%,大于 25°的陡坡地占 49.2%。沟坡陡坡 25°以上面积 176.3hm²,占沟坡面积的 34.3%,塌地面积 111.9hm²,占沟坡地的 21.8%。流域内除部分塌地外,具有坡度陡,土壤侵蚀强烈,岩石裸露等特点,土壤侵蚀模数为 14,000t·hm⁻²。流域年均降雨量 549.1mm,分布不均,7、8、9 三个月降雨量占年降雨量的 61.1%,且多暴雨,是造成该流域水土流失的主要原因。

试验样点布设在峙峪岫(包括林场)、瓦树塌、纸坊村。土地利用类型主要有:林地、草地、塌地、梯田、坡耕地、坝地、撂荒地等。其中林地树种主要有:刺槐、柠条、沙棘;草地为天然荒草地;塌地和坡耕地作物主要有:玉米、谷子、豆子、麻子、小麦、马铃薯和糜子等;梯田主要为苹果园,间有桃园、枣园、杏园等;坝地面积很小,多为菜地;撂荒地主要由坡耕地退耕而成。在流域断面(上、中、下游)按照坡向的不同分为阳坡、阴坡;同一坡向又可分为坡上部、坡中部、坡下部,在上述位置选择典型样点 30 个,其中纸坊村 7 个、林场 7 个、峙峪岫和瓦树塌各 8 个。

1998 年 5 月~9 月,运用小型野外模拟降雨试验装置在纸坊沟流域进行广泛的多点实测土壤入渗速率,共进行了 68 场人工模拟降雨试验。

2 结果与分析

2.1 入渗速率分级

根据所测样点土壤稳渗率大小,将纸坊沟流域土壤各点的入渗速率分为四级,如表 1 所示。

表 1 纸坊沟流域土壤入渗速率分级

分级	稳渗率 (mm min ⁻¹)	0~20cm 土层容重 (g cm ⁻³)	0~20cm 土层>0.25mm 水稳性团粒含量 (%)
I	0.3~0.5	1.06~1.49	5.69~15.07
II	0.5~0.8	1.05~1.38	10.38~26.37
III	0.8~1.1	1.08~1.33	17.65~38.72
IV	>1.1	0.96~1.21	35.80~64.71

注:表中数据均为流域多个样点平均值;其中容重采用挖剖面取原状土的方法进行测定,水稳性团粒含量采用丘林法

I 级:包括陡坡(>25°)撂荒地、陡坡(>25°)耕地。由于坡度陡,表层(0~20cm)土壤容重较大,>0.25mm 水稳性团粒含量较少,土壤空隙率小,导水性能差,从而造成土壤稳渗率低,仅为 0.30~0.50mm min⁻¹,平均为 0.41mm min⁻¹。

II 级:包括缓坡耕地、普通耕作的塌地农地、梯田果园及绝大多数坝地。由于梯田内外侧土壤结构存在一定差异,内侧土壤初始含水率高于外侧,土壤容重小于外侧,且内侧不易遭受阳光暴晒与狂风袭击,因此内侧杂草多于外侧,从某种意义上讲提高了土壤的入

渗能力。内侧(0.61~0.72mm min⁻¹)稳渗率高于外侧(0.50~0.67mm min⁻¹)。老林塌梯田土壤稳渗率(0.50~0.64mm min⁻¹,平均为0.58mm min⁻¹)明显小于瓦树塌新修梯田(0.68~0.81mm min⁻¹,平均为0.76mm min⁻¹),究其原因主要是由于老梯田土壤结构比新梯田差,不利于土壤入渗。坝地土壤稳渗率变化幅度较小,为0.66~0.74mm min⁻¹,平均为0.70mm min⁻¹,高于坡耕地(0.52~0.71mm min⁻¹,平均为0.64mm min⁻¹)和老梯田但小于新修梯田。

II级:包括大垄沟、水平沟耕作农地、少数坝地、纸坊村林草地。与普通耕作坡耕地稳渗率(0.52~0.71mm min⁻¹)相比,大垄沟、水平沟等采用水土保持措施的坡耕地稳渗率(0.79~0.98mm min⁻¹,平均为0.84mm min⁻¹)明显提高;纸坊村位于流域下游,农、林、草地坡度一般均大于流域其余同类测点,是该流域水土流失的重要来源地,因此其土壤稳渗率与其他同类型相比均小,农地土壤稳渗率大多处于I级,少数为II级;而林草地土壤稳渗率几乎全为II级。

IV级:包括峙峪岷、林场、瓦树塌林草地。其中峙峪岷林地(1.12~1.23mm min⁻¹,平均为1.18mm min⁻¹)、瓦树塌林地(1.10~1.26mm min⁻¹,平均为1.17mm min⁻¹)土壤稳渗率接近,但均小于林场土壤稳渗率(1.21~1.31mm min⁻¹,平均为1.27mm min⁻¹),主要原因在于后者土壤结构比前者好,另外林场土壤表面枯枝落叶层被保护得较好,使得土壤降雨入渗速率提高。草地土壤稳渗率变化幅度较大,为1.10~1.41mm min⁻¹,平均为1.24mm min⁻¹。

2.2 入渗速率沿坡面垂直变化规律

试验结果表明,纸坊沟流域土壤入渗速率具有十分明显的坡面垂直分带特征。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差异。

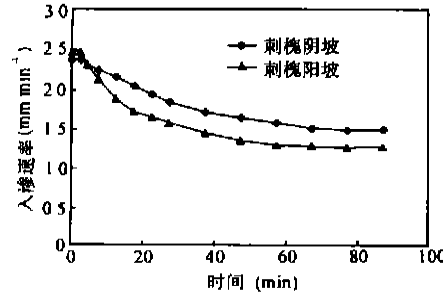
坡度对降水入渗的影响表现在两个方面,其一是降水在坡面上发生再分配;其二是随着地面坡度的变陡,土壤稳定性下降,降水入渗速率呈现明显变化(表2)。无论是刺槐林地、农耕地还是撂荒地,随着坡度的增加,土壤稳渗率均呈现下降趋势,因此可以看出要想增加土壤降水入渗,必须减缓地面坡度,变坡地为平地(坡改梯)。

表2 不同坡度情况下土壤入渗速率比较

样地号	土地利用类型	坡度 (°)	稳渗率 (mm min ⁻¹)	土壤初始含水率 (%)	土壤容重 (g cm ⁻³)
1	峙峪岷阴坡刺槐林	12	1.58	7.56	0.954
2	峙峪岷阴坡糜子地	23	0.68	8.62	1.181
3	峙峪岷阳坡小麦地	29	0.36	7.87	1.059
4	瓦树塌阴坡刺槐林	33	1.07	5.41	1.005
5	瓦树塌阳坡豆麻间作	18	0.88	11.97	1.271
6	瓦树塌阴坡土豆地	21	0.69	15.77	1.204
7	瓦树塌阳坡撂荒地	37	0.37	8.54	1.188
8	林场阳坡刺槐林	26	1.21	5.08	0.890
9	纸房沟阳坡刺槐林	36	0.97	6.10	1.061
10	纸房沟阳坡撂荒地	41	0.32	7.61	1.244

注:土壤初始含水率采用烘干法测定;土壤容重采用挖剖面取原状土的方法进行测定

不同坡向土壤入渗性能也存在较大差异, 试验结果表明, 阳坡初渗率大于阴坡, 但随着时间的推移阳坡土壤入渗率衰减快于阴坡, 造成阴坡入渗率大于阳坡。究其原因可知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层, 有利于降水入渗; 阳坡土壤初始含水率较低, 地表存在不同程度的干裂缝, 降雨初始阶段雨水很快渗入土壤, 初始入渗速率较高, 而阳坡植被、枯枝落叶层状况较差, 土壤在雨滴打击下易于形成结皮, 阻拦降水入渗, 故而阴坡土壤入渗性能好于阳坡。



如图 1 所示, 刺槐林地阴坡和阳坡土壤降雨入渗速率随时间的变化呈现明显差异, 降雨入渗初始阶段(10 min), 阳坡入渗速率变化曲线斜率大于阴坡; 降雨入渗稳定前阶段, 对于刺槐林而言所用时间较长, 为 10~ 60 min, 这主要是由于刺槐林地土壤入渗率变化幅度较小, 从而造成刺槐林达到稳渗所需时间较长; 降雨入渗稳定阶段, 此时土壤入渗率逐渐趋于稳定, 但阴坡稳渗率大于阳坡。

图 1 坡向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, 无论是林地、草地还是农地, 土壤稳渗率和产流历时数值均随坡位由上而下逐渐增加。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坡下部, 在坡的上部和中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, 致使下部土质疏松。而土壤容重却正好相反, 由于坡上、中部土壤在遭受侵蚀冲刷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, 因此由坡上部到下部稳渗率逐渐增高。如图 2 所示, 在同一雨强作用下, 由坡上部到坡下部, 随着土壤初始含水率的递增, 阴坡糜子地土壤初始入渗速率呈现规律性变化, 由坡上部到坡下部其曲线斜率变化幅度逐渐减小, 坡上部约在 45min 入

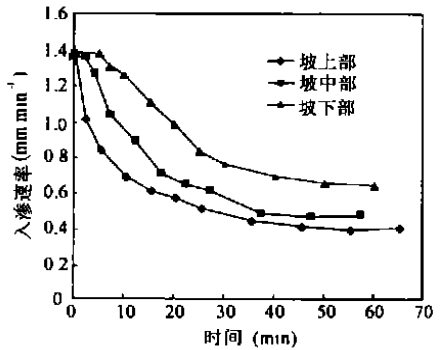


图 2 坡位对土壤入渗速率的影响

率趋于稳定; 坡中部达到稳渗的时间略高于坡上部, 而坡下部出现稳渗的时间在 50 min 以后。

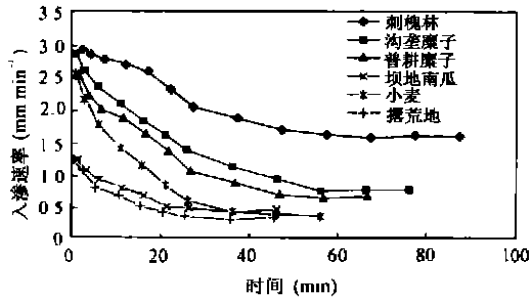


图 3 不同土地利用方式对土壤入渗速率的影响

2.3 不同土地利用方式下土壤入渗速率变化规律

农地、撂荒地、林地土壤入渗速率及入渗过程线存在较大差别, 如图 3 所示, 可看出入渗速率变化快慢顺序为: 刺槐林地 < 沟垄耕作糜子地 < 普通耕作糜子地 < 坝地南瓜地 < 小麦地 < 撂荒地。由于刺槐林地存在大量枯枝落叶层、灌丛草本植物、软体动物(如蚯蚓、

蚂蚁等)的栖息繁衍造成土壤疏松,结构良好,使得土壤入渗速率衰减最慢,土壤稳渗率最高;沟垄耕作糜子地土壤稳渗率大于普通耕作糜子地,主要是由于沟垄耕作措施精细,土壤结构较为疏松,致使土壤容重变小,并且在一定程度上改变了微地形,强化降水就地入渗功能优于普通耕作糜子地;坝地南瓜地虽然土壤初始含水率远大于小麦地,但是由于坝地南瓜地地势平坦,土壤结构优于小麦地,因而其土壤稳渗率大于小麦地;撂荒地由于地表无任何覆盖物,易于形成地表结皮,再加之其坡度最陡,故其土壤稳渗率最低。

3 结 论

1. 纸坊沟流域不同土地利用方式及地形地貌条件下的土壤点的平均入渗速率均在 0.40mm min^{-1} 以上,结合该流域降雨特性,将所降之雨水就地拦蓄入渗是完全可能的。

2. 根据流域多点实测资料将纸坊沟流域土壤点的入渗速率分为四级,其中陡坡撂荒地、陡坡农耕地土壤点的平均稳渗率为 0.41mm min^{-1} ,老梯田、新梯田、普通耕作缓坡地、沟垄耕作缓坡地、坝地、林地、草地土壤点的平均稳渗率分别为 0.58mm min^{-1} 、 0.76mm min^{-1} 、 0.64mm min^{-1} 、 0.84mm min^{-1} 、 0.70mm min^{-1} 、 1.21mm min^{-1} 、 1.24mm min^{-1} 。

3. 流域土壤稳渗率呈现明显坡面垂直分带特征,通常情况下,随着坡度增加,流域内土壤稳渗率呈现下降趋势;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,由坡上部到坡下部稳渗率逐渐提高。同一坡面,土地利用方式不同,土壤稳渗率存在较大差异,表现为,刺槐林地土壤入渗速率衰减最慢,其次为沟垄耕作糜子地,最后为陡坡撂荒地。

参 考 文 献

1. 杨艳生,史德明,姚宗虞. 侵蚀土壤地表径流和土壤渗透的研究. 土壤学报, 1984, 21(2): 203~ 210
2. 康绍忠,张书函,聂光镛等. 内蒙古敖包小流域土壤入渗分布规律的研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(2): 38~ 46
3. 周国逸,潘淮涛. 林地土壤的降雨入渗规律. 水土保持学报, 1990, 4(2): 79~ 83
4. 蒋定生,黄国俊. 黄土高原土壤入渗速率的研究. 土壤学报, 1986, 23(4): 299~ 304
5. 袁建平,蒋定生,文妙霞. 坡地降雨入渗试验装置研究. 水土保持通报, 1999, 19(1): 24~ 27