

不同利用类型土壤水分下渗特征试验研究

王 健, 吴发启, 孟秦倩, 张青峰

(西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 以延安市柳林镇高坡村不同利用类型的土地为研究对象, 采用双环法进行水分入渗试验, 分析讨论不同土地利用类型土壤水分平均入渗速率、稳渗率等下渗特征。结果表明: ① 不同土地利用类型水分入渗速率均可用霍顿方程来描述; ② 留茬农地入渗前 200 min 平均入渗速率可达 1.52 mm/min, 稳渗率为 1.17 mm/min, 其它土地利用类型其平均入渗速率与稳渗率均表现为留茬农地>耕地>荒草地>田间道路; ③ 土壤容重直接影响水分入渗, 容重愈大, 稳渗率愈低, 两者呈指数函数关系。

关键词: 入渗; 土地利用类型; 土壤水分; 入渗特征

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)06-0159-04

入渗是指地表水体进入土壤, 并在整个剖面上运移的全过程^[1,2]。因此, 土壤特征、土壤初始含水量、植被等因子均会对水分入渗产生直接影响^[3~5]。土壤吸水性、持水性和透水性的变化直接影响水分的入渗, 土壤的机械组成(质地)和结构, 决定了土壤的可能最大吸水透水能力, 土壤的水理性质决定了土壤吸水量和透水量的大小和变化; 土壤初始含水量的大小, 决定着土壤初始入渗量和初期吸水能力的大小; 植被除了能增加土壤的孔隙度之外, 还可起到阻滞地表水流, 延长下渗时间的作用^[7~9]。而这些因子基本上都与土地利用类型有关, 本研究以延安宝塔区几种主要土地利用类型土壤为研究对象, 采用双环法研究其水分入渗特征, 以服务于该区水分管理与水土保持实践。

1 试验区概况

试验区所在的高坡村属陕西省延安市宝塔区。地理坐标介于 N36°30′00″~36°30′30″, E109°26′15″~109°26′19″之间; 多年平均气温 9.2℃, 无霜期 140~170 d, ≥10℃的积温 2 714~3 863℃; 多年平均降水量 558 mm, 降水年内分配不均, 汛期降水量占 70%以上; 天然植被以灌丛和草被为主, 多分布于沟坡; 土壤以侵蚀性黄绵土为主。该区地势起伏, 沟壑纵横, 水土流失严重, 土壤侵蚀模数达 10 000 t/(km²·a)左右。在长期农作习惯的基础上, 现已形成了以粮食、苹果和畜牧业为主体的农业生产格局, 在土地利用方式上, 则表现为耕地、果园、荒草地、交

通用地以及作物收获后的留茬地等主要类型。

2 研究内容和方法

2.1 研究内容

考虑到不同土地利用类型直接影响着土壤孔隙度, 同时根系以及腐烂的腐殖质对土壤质地也会产生一定影响, 而地表覆盖能有效减弱水流对土壤的扰动, 因此, 本次试验分别测定黄土高原留茬农地、耕地、果园、荒草地和田间道路的入渗速率, 分析不同土地利用类型水分入渗特征。研究内容主要包括: ① 不同土地利用类型土壤水分入渗规律; ② 农田土壤入渗特征; ③ 土壤容重对土壤稳渗率的影响。

2.2 试验方法

土壤含水量是影响入渗的一个主要因素, 为了消除其影响, 试验前, 采用人工洒水的形式, 预先进行洒水, 然后持续测定土壤含水量, 当土壤含水量接近设计含水量时, 开始试验。试验地点选择留茬农地、耕地、果园、荒草地和田间道路 5 种土地利用类型, 各类型测定地点均为无坡度平地, 其中, 留茬农地前茬为谷子, 荒草地主要草种为狗尾草、长芒草、猪毛草等, 覆盖度为 50%~60%, 试验前贴地面剪去地面部分。

2.2.1 入渗测定

采用同心环下渗仪测定, 同心环下渗仪由直径为 30 cm 及 60 cm 的两个内外金属圆环组成, 环高 20 cm, 试验时, 将两环同心打入土中约 10 cm, 然后注水于两环内, 内外两环均保持固定水深 3 cm, 内

收稿日期: 2006-06-09

基金项目: 中科院知识创新项目(kzcx 1-06-02-03); 西北农林科技大学青年科研专项

作者简介: 王 健(1973-), 男, 陕西商州人, 讲师, 在读博士, 主要从事水土保持与荒漠化防治的教学与研究工作。

环控制试验面积,并附有测针作固定标记,当水面降至下限时,进行加水,加水至固定位置,测定入渗速率,外环加水与内环平衡,抑制内环侧渗。

2.2.2 下渗率的计算

下渗率的计算公式为:
$$f=10V/a$$
式中: f 为下渗率,mm/min; V 为单位时间加水量,ml/min; a 为内环面积,本次试验中, a 为 706.86 cm²。

记录内环每分钟加入的水量(体积),由上式计算下渗率,绘制下渗能力曲线。这种方法测得的下渗率称作下渗能力,即水能够渗入土中的最大速度。

2.2.3 容重测定

测定土壤容重采用环刀采样,在采土处用铁锹铲平,将环刀垂直压入土内,然后挖掘周围土壤,取出环刀,切去环刀两端多余的土,带回室内称重,计算土壤容重。每点采用 3 个重复。

3 结果及分析

3.1 不同土地利用类型的入渗速率

各利用类型前 200 min 平均入渗速率及稳渗率如表 1。可以看出,对于留茬农地前 200min 平均入渗速率达 1.52mm/min,稳渗率为 1.17mm/min,田间道路前 200min 平均入渗速率为 0.224 mm/min,稳渗率为 0.18mm/min,耕地、果园和草地介于两者之间。试验表明,无论是平均入渗率还是稳渗率均表现为留茬农地>耕地>果园>荒草地>田间道路。

表 1 不同土地利用类型土壤水分入渗结果
Table 1 The results of soil moisture infiltration experiment

土地利用类型 Land use type	200 min 平均入渗速率 Mean infiltration (mm/min)	稳渗率 Steady infiltration (mm/min)
留茬农地 Stubble farmland	1.52	1.17
耕地 Arable land	1.09	0.79
果园 Orchard	0.91	0.54
草地 Grassland	0.61	0.47
田间道路 Road	0.22	0.18

3.2 不同土地利用类型土壤水分入渗特征

水分渗入土壤是水分在分子力、毛管力和重力的综合作用下在土壤中运动的物理过程,入渗按土壤水分受力情况及运行特征可分为三个阶段:渗润阶段、渗漏阶段和渗透阶段。在渗润阶段,土壤含水

量较低,入渗速度较大,随着水分不断入渗,土壤含水量增加,入渗速度迅速减小,这个阶段仅持续 10 min 左右;在渗漏阶段,由于土壤含水量增加,下渗速度逐渐减小,这个阶段持续 100 min 左右;在渗透阶段,土壤含水量达到田间持水量以上,下渗速度趋于稳定。

根据试验点绘出留茬农地、耕地、果园、荒草地和田间道路的土壤水分入渗率随时间变化曲线,如图 1~图 5。

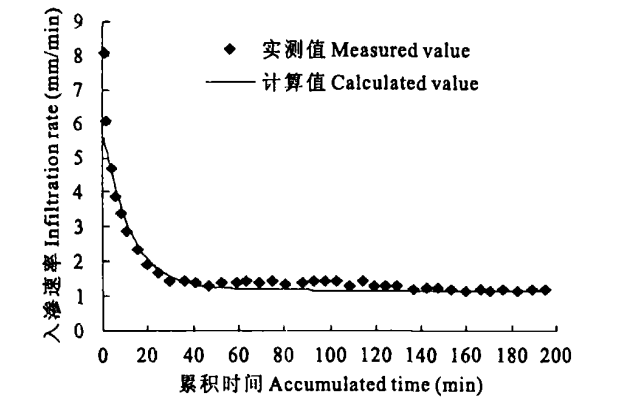


图 1 留茬农地土壤水分入渗特征
Fig.1 Soil water infiltration rate of the stubble farmland

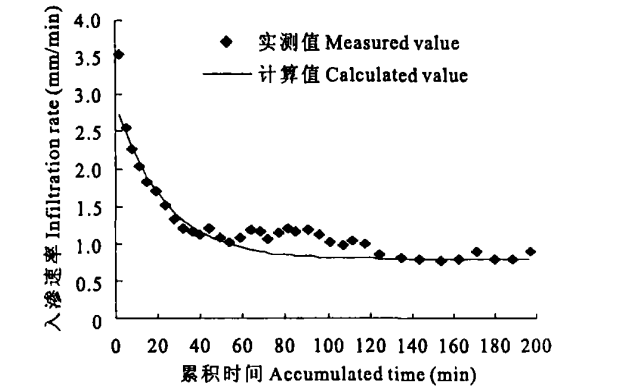


图 2 耕地土壤水分入渗特征
Fig.2 Soil water infiltration rate of the arable land

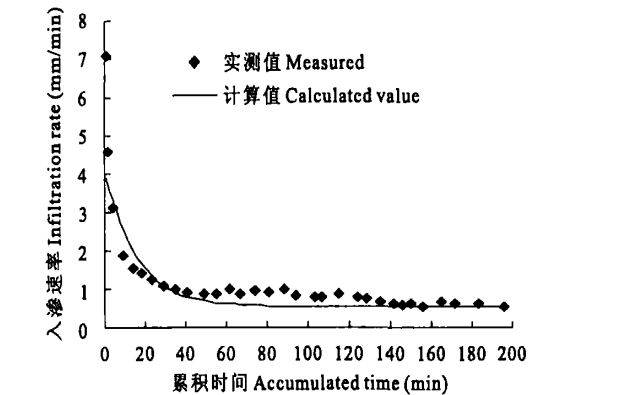


图 3 果园土壤水分入渗特征
Fig.3 Soil water infiltration rate of the orchard

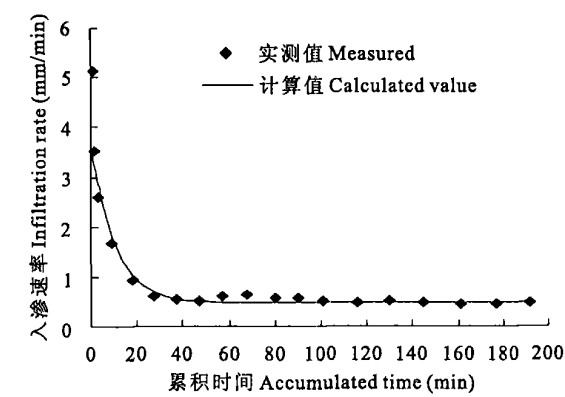


图 4 草地土壤水分入渗特征

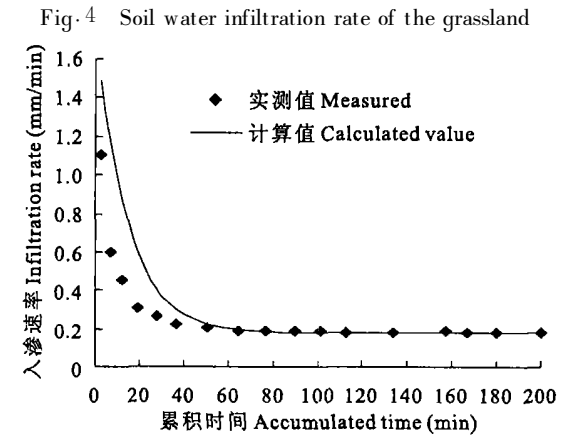


图 5 道路土壤水分入渗特征

Fig. 5 Soil water infiltration rate of the road

各种土地利用类型,其土壤水分入渗过程比较类似,随时间延续,水分不断进入土壤,土壤水分容量减小,入渗速率逐渐降低。由图 1~图 3 可以看出,留茬农地、耕地和果园三个阶段表现的比较明显,初期入渗速率较大,渗润阶段持续 30~40 min 左右,到 130~150 min 后土壤水分入渗进入稳定入渗阶段;留茬农地稳渗率为 1.17 mm/min 左右。耕地稳渗率为 0.79 mm/min,低于留茬农地。果园土壤水分入渗过程与留茬农地或耕地入渗过程类似,但其渗润阶段较短,持续 20 min 左右,同时在渗润阶段,入渗率显著降低。由图 4 可以看出,天然草地土壤水分入渗渗润阶段更短,入渗速率迅速减小,同时渗漏阶段也很短,在渗漏阶段入渗速率略高于稳渗率 0.47 mm/min。图 5 可见,田间道路由于人畜践踏,土壤孔隙率很小,水分入渗很小,其初始入渗速率仅为 1.1 mm/min,渗润阶段和渗漏阶段迅速缩短,很快进入渗透阶段。

3.3 土壤水分入渗模拟

土壤水分入渗过程可用霍顿公式来描述^[9],其基本形式为:

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \exp(-kt)$$

式中: f 为 t 时刻的下渗速率; f_c 为稳定入渗率, f_0 为初始入渗率, t 为时间, k 为系数,反映着土壤的下渗性能。

由霍顿下渗方程,两边取对数,得:

$$\ln(f - f_c) = \ln(f_0 - f_c) - kt$$

可以看出,在半对数纸上, $f - f_c$ 与 t 呈直线关系,其斜率为 $-k$,截距为 $\ln(f_0 - f_c)$,同时根据下渗资料, f_c 可取 f 近于常数的最小值,由此即可求得 f_c 、 f_0 及 k 值。

进行数值模拟,根据最小二乘法求得模拟相关系数。将不同土地利用类型土壤入渗速率实测值与计算结果点绘于图 1~5。由图 1~5 可以看出,土壤入渗速率计算值与实测值随入渗时间的变化趋势吻合程度较好,各种土地利用类型模拟结果如表 2 所示。由表 2 可以看出霍顿方程能较好的模拟土壤水分入渗过程,方程的相关系数均在 0.95 以上。

表 2 不同土地利用类型土壤水分入渗方程表达式

Table 2 The equation of soil moisture infiltration of different land use patterns

土地利用类型 Landuse	入渗方程 Infiltration equation	相关系数 Coefficient
留茬农地 Stubble land	$f = 1.17 + 4.833 \cdot \exp(-0.083t)$	0.9855
耕地 Arable land	$f = 0.786 + 2.126 \cdot \exp(-0.0437t)$	0.9792
果园 Orchard	$f = 0.54 + 3.611 \cdot \exp(-0.0643t)$	0.9554
草地 Grassland	$f = 0.47 + 3.33 \cdot \exp(-0.0994t)$	0.9879
践踏道路 Road	$f = 0.18 + 1.407 \cdot \exp(-0.0713t)$	0.9909

3.4 容重对土壤稳渗率的影响

土壤容重表示土壤在单位体积内排列松紧的程度,它的变化代表着土壤孔隙度的变化,特别是毛细孔隙度的多寡。容重减小,土壤总孔隙度及大孔隙量相应的变大,其入渗速率增大;容重增大,土壤入渗率减小。土壤入渗与土壤容重、孔隙度和孔隙率的大小比例有关,土壤容重越大,入渗速率越低,土壤容重越小,孔隙度和孔隙率越大,入渗速率越大。

将不同土壤容重下土壤稳渗率点绘成图 6。对其进行拟合分析,可以看出,土壤容重与稳渗率呈指数关系,其关系式为:

$$i_c = 45.564 \exp(-3.3712r) \quad R^2 = 0.9424$$

式中: i_c 为稳渗率(mm/min); r 为 0~20 cm 土壤容重(g/cm³)。

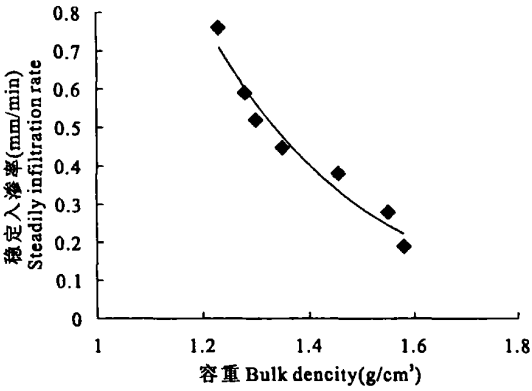


图 6 土壤紧实度对稳定入渗速率的影响

Fig. 6 The soil-intensity influence on stable-infiltrate rate

4 结 论

1) 土地利用方式影响着土壤水分入渗,其平均入渗速率与稳渗率均表现为留茬农地>耕地>果园>荒草地>田间道路。对于天然草地和田间道路而言,渗润和渗漏阶段很短,入渗速率迅速减小,很快进入渗透阶段,呈现稳定入渗。

2) 土壤水分入渗可用霍顿公式很好地模拟,模拟方程相关系数均在 0.95 以上。

3) 水分入渗受土壤容重的影响,随容重增加,稳渗率降低,两者呈现指数函数关系。

参 考 文 献:

[1] 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,1997.27—44.

[2] 陈洪松,邵明安. 黄土区坡地土壤水分运动与转化机理研究进展[J]. 水科学进展,2003,14(4):513—520.

[3] 吴钦孝,韩冰,李秧秧. 黄土丘陵区小流域土壤水分入渗特征研究[J]. 中国水土保持科学,2004,2(2):1—5.

[4] 李雪转,樊贵盛. 土壤有机质含量对土壤入渗能力及参数影响的试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(3):188—190.

[5] 陈洪松,邵明安,张兴昌,等. 野外模拟降雨条件下坡面降雨入渗、产流试验研究[J]. 水土保持学报,2005,19(2):5—8.

[6] 马东豪,王全九,郭太龙. 根据水流推进过程预测 Horton 入渗公式参数和田面平均糙率系数[J]. 农业工程学报,2005,21(12):52—55.

[7] 张晓明,余新晓,武思宏,等. 黄土区森林植被对坡面径流和侵蚀产沙的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(9):1613—1617.

[8] 余新晓. 降雨入渗及产流问题的研究进展和评述[J]. 北京林业大学学报,1991,13(4):88—94.

[9] Horton R E. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity[J]. Soil Sci.Soc Am Proc,1940,3:399—417.

Experimental test about moisture infiltration character in different landuse type

WANG Jian, WU Fa-qi, MENG Qin-qian, ZHANG Qing-feng
(Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This article takes the slope land of Gaopo village of Liulin town as the experimental point in Yan'an city. The advanced bi-roll method is adopted to illustrate the rules of infiltration rate in different landuse types. The result shows: ① the moisture infiltration rate in different landuse types can all be thoroughly defined through the Horton equation; ② the average infiltration and the steadily infiltration attains 1.52 mm/min and 1.17 mm/min respectively with 200 min in stubble farmland, the rate of whatever the average infiltration or the steadily infiltration is the same, it shows that the stubble farmland is a little higher than the arable land, the grassland, than the road; ③ Soil density makes a direct impact on the moisture infiltration, the more the density is, the lower the steadily infiltration is. And there is an exponential function relationship between them.

Keywords: infiltration; bi-roll method; land use