

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.10.022

# 环式入渗仪测量土壤初始入渗率效果试验\*

张婧<sup>1</sup> 雷廷武<sup>1,2</sup> 张光辉<sup>2,3</sup> 蔡崇法<sup>4</sup> 黄炎和<sup>5</sup> Yang Xiusheng<sup>6</sup>

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所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. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 4. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070;

5. 福建农林大学资源与环境学院, 福州 350002; 6. 康涅狄克大学自然资源管理与工程系, 斯托斯, 康涅狄克 06269)

**摘要:** 提出一种环式入渗试验装置,可以在入渗进行一段时间后,通过观测初始入渗水在土壤剖面的分布,估量初始入渗的过程。该入渗环为可拆分的两个半环,以便通过观察入渗水分在土壤剖面的分布估计初始入渗特性。论述了环的构成和测量过程与方法。同时用有机玻璃圆管装填土样,对比观察模拟真实一维入渗过程。用采自北京的粉壤土和该试验装置进行土壤入渗试验。试验分为3种入土打击能量:1.2、4 kg铁锤,自1 m高处自由落体打击入渗环入土。土壤干体容积密度分别为:1.2、1.3、1.4 g/cm<sup>3</sup>。每次试验均向环内注入2 L水,每组试验进行2次重复。入渗环内土壤湿润土体表明,实际发生的土壤入渗为由环壁向环内土壤的径向入渗和由地表向下垂直入渗构成,环壁与土壤剖面间产生的优先流极大地影响了初始土壤入渗率的测量精度。在初始入渗阶段,由环壁向土体的水平径向入渗宽度和由地表向土体的垂直入渗深度近似相等,垂直入渗深度是水平径向入渗宽度的1.001倍。环式入渗仪测得的土壤初始入渗率为模拟真实一维入渗率的3.3倍。研究结果可为环式入渗仪测量结果的评估提供参考。

**关键词:** 环式入渗仪 试验装置 测量效果 侧壁入渗

**中图分类号:** S152.7<sup>+</sup>2; S237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)10-0140-07

## 引言

降水通过地表进入土壤的过程为入渗。土壤的入渗性能与作物水分利用、灌溉管理、土壤侵蚀<sup>[1]</sup>、土壤水分与溶质运移等方面密切相关。因此土壤入渗过程的定量描述具有重要意义。土壤入渗率的测量是定量研究土壤入渗性能的基础,长期以来受国内众多学者的广泛关注。目前,土壤入渗率测量方法较多,如环刀法、圆盘入渗仪法<sup>[2-3]</sup>、模拟降雨法<sup>[4]</sup>、降雨入流-产流-积水和降雨入流-产流-出流测量方法<sup>[5-6]</sup>、线源入渗仪<sup>[7]</sup>、双环法<sup>[8]</sup>等。其中Bouwer论述的环式入渗仪,由于入渗模型概念清晰,计算简单,设备成本相对较低,可以方便地进行野外测量,是目前应用非常普遍,同时也是很经典的测量方法<sup>[8-9]</sup>。它已在水文水循环过程、水土保持治理、生态系统土壤水文过程、灌溉以及面源污染控制等研究领域得到广泛应用<sup>[10-15]</sup>。但大量研究文献表明,采用环式入渗仪测量的土壤稳定入渗率远

高于人工降雨法的测量结果。雷廷武等<sup>[16]</sup>认为将入渗环砸入土中的过程产生震动,对土壤结构产生一定程度的破坏,环壁和土壤间可能会形成一定的缝隙,提供了水分入渗过程的优先路径,造成环式入渗仪测量结果比土壤真实入渗性能偏高。但是优先流对土壤入渗性能的具体影响过程及对初始入渗率的影响大小目前还不明确。目前研究者大多是对环式入渗仪测量自动化及操作便捷性进行改进,提高环式入渗仪测量的自动化程度,但是对入渗率测量结果准确性的关注较少。环式入渗仪测量结果的准确性研究主要集中在环内水头、插深、双环直径、双环入渗仪缓冲指标等<sup>[17-19]</sup>对测量结果的影响;对于环式入渗仪测量结果与测量结果相对稳定的模拟降雨法及原状土环刀法之间的差异研究报道较少。

针对环式入渗仪可能存在的缺陷,本文提出一种测量装置和试验方法,检验环式入渗仪测量土壤初始入渗率的效果;给出应用该装置进行试验的操作方法,并进行入渗试验;用试验现象分析环式入渗仪产生测量误差的原因,并估算误差大小。

收稿日期: 2013-12-05 修回日期: 2014-01-03

\* 国家自然科学基金重点资助项目(41230746)

作者简介: 张婧, 博士生, 主要从事水利工程研究, E-mail: zhangjingde2011@126.com

通讯作者: 雷廷武, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀和旱地农业研究, E-mail: leitingwu@cau.edu.cn

## 1 可剖分的入渗环及入土打击装置

环式入渗仪测量结果偏大的原因之一,可能是由于打击入渗环入土的过程中圆环产生震动,造成环、土分离,产生缝隙,提供了沿环壁产生优先流的路径,导致水分不仅仅由地表进入土壤形成垂直一维入渗,还有由地表垂直入渗和由环壁侧向入渗共同作用构成的环内土壤入渗。

为验证上述假设,设计一种试验方法,在入渗进行一定时间后,切挖土壤剖面,观测入渗水分在土壤剖面中的分布,揭示环内真实的入渗过程。为进行上述试验,设计了如图 1 所示的试验装置。入渗环按照标准尺寸制作<sup>[20]</sup>,入渗环厚度为 2.5 mm,直径 35 cm,高 20 cm。将入渗环过中心轴剖分成 2 个半环,在 2 个半环上焊接有螺孔的连接板,2 个连接板之间放宽 1.5 cm、长 20 cm 的橡胶条,防止渗水;用螺栓连接 2 个半环组成入渗环。安装入渗环时,先在入渗环连接板所处的位置,用取土器在两侧各预挖 1 个孔,便于连接板和其上的螺栓不妨碍入渗环的安装。入渗结束后,挖开入渗环外土壤,拧开螺栓,使得入渗环 2 瓣分开,从而可以去除入渗环。用切刀剖切环内土体,观测入渗水分在土体内的分布范围,确定水分入渗范围,估计入渗特征。

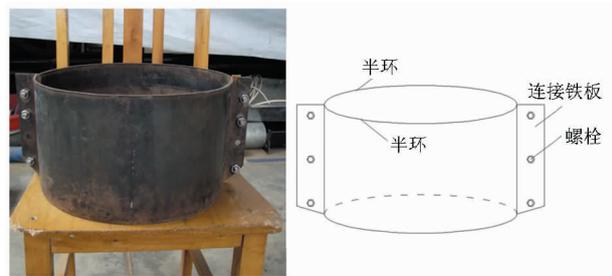


图 1 环式入渗仪

Fig. 1 Ring infiltrometer

入渗环入土过程中打击入渗环的能量不同,可能会影响环的震动差异,影响形成的缝隙大小。为保证每次打击入渗环的能量可以控制,设计如图 2 所示的砸入装置。该装置由导管、铁锤止动板和铁锤组成。导管用 PVC 制成,直径 74 mm,管壁厚 3 mm,高 105 cm,起引导铁锤运动的作用。在离顶部 5 cm 处开有插口,用于放入铁锤止动板。在导管的底部开有高 20 mm 宽 2.5 mm 的开口,方便导管卡在入渗环上起固定作用。铁锤止动板为厚 5 mm 的铁板,头部做成半圆,直径略小于导管,为 67 mm,后部矩形,宽 60 mm,长 74 mm。试验时,将铁锤止动板插入插口,铁锤放到止动板上,当抽出止动板时,铁锤下落,从而保证每次铁锤都从相同的高度自由落体打击入渗环,即每次砸到入渗环的能量相同。

铁锤直径均是 60 mm,质量分别为 1、2、4 kg。

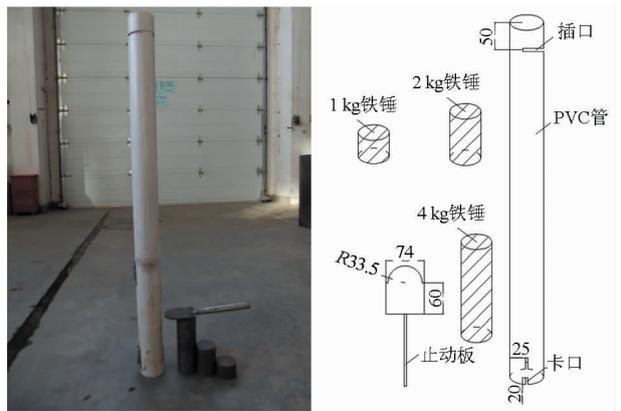


图 2 砸入装置

Fig. 2 Hammering device

## 2 材料与方 法

### 2.1 试验材料

试验在中国农业大学水利与土木工程学院人工降雨大厅进行。供试土壤为粉壤土(粘粒 15%,粉粒 50.2%,砂粒 34.8%)。在 2 m × 0.75 m × 0.5 m 土槽内,装土容积密度控制在 1.2、1.3 和 1.4 g/cm<sup>3</sup>,每 5 cm 为一层,分层装入。按设计容积密度计算土壤质量,将称重后的土壤放入土槽用耙子整平,再压实到 5 cm 划线处。在装入下一层土壤之前,先将前次装入的土层用工具打毛,以避免上下土层之间出现结构和水动力学特性突变等内边界。整个土槽的装土深度为 35 cm,初始含水率大约为 11%,约为此土壤 50% 的田间持水率。

### 2.2 试验方法

#### (1) 安装入渗环

将连接好的入渗环放在被测土壤选定的位置,在两个半环连接板位置处做标记,然后移走入渗环,用土钻在标记处打孔,方便入渗环砸入。再将入渗环放回,半环连接板处于已经打好孔的位置。两套砸入装置同时使用。将两个 PVC 导管铅直放在入渗环沿直径两侧对称方向上,将管底开口卡在入渗环上。在导管上部开口处插入止动板,将选定质量的铁锤放在止动板上。在抽出止动板后,两个铁锤自给定高度自由落体同时砸到入渗环上。重复以上操作,直到入渗环砸入土壤的深度达到 15 cm。

#### (2) 开挖环外土壤

将环外的土壤挖开,开挖深度为 14 cm,便于试验结束后立即拆卸入渗环,开挖土壤剖面以观测入渗水分在土壤中的分布或运动状况。而后向环内土壤表面供水。

#### (3) 灌水入渗试验

向环内注水时,在土壤表面铺上纱布,以尽量减

少加水时水流对土表的冲刷。2 L水一次性加入环内进行入渗。当水分入渗结束后,立即拧开入渗环上的螺栓,拆卸并移出入渗环。并立即用切刀剖切环内土体,观察入渗水分在环内土壤中的分布。

将环式入渗仪砸入土中测量入渗率的方法称为砸入法。为对比砸入法与入渗环内回填土壤模拟理想一维入渗获得的土壤剖面湿润状况,同时在组装好的入渗环内直接填土,进行入渗试验。填土完成后,在入渗环内土壤表面铺上纱布,向环内一次性加入2 L水,进行入渗。入渗完成后,拧开螺栓,取出入渗环,剖切土壤,观测环内填土获得的土壤剖面湿润状况。由皮尺量取土壤剖面的垂直入渗深度,与砸入入渗环获得的土壤剖面湿润状况进行对比。

试验采用3种土壤干体积容密度(1.2、1.3和1.4 g/cm<sup>3</sup>)、3种打击能量(铁锤质量为1、2和4 kg)。每个试验设2个重复。

由Green-Ampt模型计算出2 L水湿润1.2 g/cm<sup>3</sup>的土壤深度约为5 cm;湿润1.3 g/cm<sup>3</sup>的土壤深度约为5.5 cm;湿润1.4 g/cm<sup>3</sup>的土壤深度约为6 cm。因此,选择采用2 L水进行入渗试验,可以湿润足够的土壤体积,保留一定的未湿润的土体,便于观测入渗的效果。

在有机玻璃环内填土,模拟真实一维入渗法直接测量入渗率,与砸入法进行对比试验,对比初始入渗效果。将环内填土测入渗的方法称为模拟真实一维入渗法。模拟真实一维入渗法测量入渗采用的入渗环为直径14 cm、高20 cm的有机玻璃环。有机玻璃环外侧贴上标尺以记录入渗深度随时间变化过程;填土干体积容密度与砸入法相同,分别为1.2、1.3、1.4 g/cm<sup>3</sup>;每个土壤干体积容密度设2个重复。为保证单位面积入渗水量相同,对有机玻璃环的加水量进行换算

$$Q_1 = \frac{D_1^2}{D^2} Q_2 \quad (1)$$

式中  $Q_1$ ——有机玻璃环加水量

$Q_2$ ——入渗环加水量

$D_1$ ——有机玻璃环直径

$D$ ——入渗环直径

根据入渗率概念,某 $t$ 时刻入渗率 $i_t$ 计算式为

$$i_t = \frac{600Q}{S\Delta t} \quad (2)$$

式中  $i_t$ ——与 $t$ 时刻临近的 $\Delta t$ 时间内时刻末入渗率,mm/h

$Q$ ——该时段入渗水量,mL

$S$ ——入渗面积,cm<sup>2</sup>

$\Delta t$ ——入渗时间,min

用数码相机录像功能记录入渗环内水位变化的过程,计算不同时段入渗的水量,用于计算入渗过程及砸入法完成入渗时刻的模拟真实一维入渗率。

### 2.3 观测内容

(1)入渗时间:用秒表记录2 L水入渗所需时间。

(2)垂直入渗深度和侧向入渗宽度:测量由地表向下的垂直入渗深度 $z$ 和由环壁侧向入渗宽度 $w$ 。用切刀依次剖切土体的1/4、1/2、3/4,分别量取4个剖面上的 $z$ 和 $w$ 值,并计算 $z$ 和 $w$ 的平均值,作为本次试验中垂直入渗深度和水平径向入渗宽度。同时量取入渗环内回填土壤剖面的垂直入渗深度。

## 3 结果与分析

### 3.1 入渗过程

入渗试验后,剖切土壤剖面,得到各工况下入渗水流湿润的土壤剖面分布,如图3、4所示。

图3和图4清楚地表明,环式入渗仪的入渗过程,是由地表土壤水分入渗和沿入渗环和土体间缝隙进入的水分入渗构成。各试验工况下的剖面土壤水分分布状况均显示入渗环内的水分入渗是垂直入渗和侧向入渗共同作用的结果。而回填土壤的入渗则表现出很好的一维垂直入渗特性。

表1为3种不同干体积密度的土壤在3种不同打击能量下入土后,入渗试验得到的垂直入渗深度和侧向入渗宽度。表中的数据表明,所有试验工况,由于土壤处于初始入渗阶段,具有较大的入渗性能,重力对垂直入渗的贡献不明显,入渗主要由土壤基质势控制。如图5所示,为平均垂直入渗深度与水平入渗宽度的关系;也表明二者具有很好的一致性。垂直入渗是水平入渗的1.001倍。

铁锤质量不同,单次打击入渗环能量也不同,打击入渗环时产生的震动模式也有差异。各土壤干体积容密度,4 kg铁锤打击下侧向入渗宽度均大于垂直入渗深度;4 kg铁锤打击下,侧壁与土壤间的缝隙较大,表层土壤水分入渗完成后,缝隙内的储水会继续入渗一段时间,因此造成侧向入渗宽度稍大于垂直入渗深度。质量不同的铁锤在打击入渗环入土时产生不同的震动模式会对侧壁和土壤之间的缝隙大小产生影响。

### 3.2 初始入渗过程估算

根据《水土流失测验与调查》<sup>[20]</sup>,初始入渗时刻测量间隔为0.5、1、2、3 min。砸入法进行试验时,各试验工况下,2 000 mL水最短入渗时间为17 s(0.28 min),最长时间为87 s(1.45 min);因此在计算初始入渗率时采用由开始到 $t$ 时刻的平均入渗率

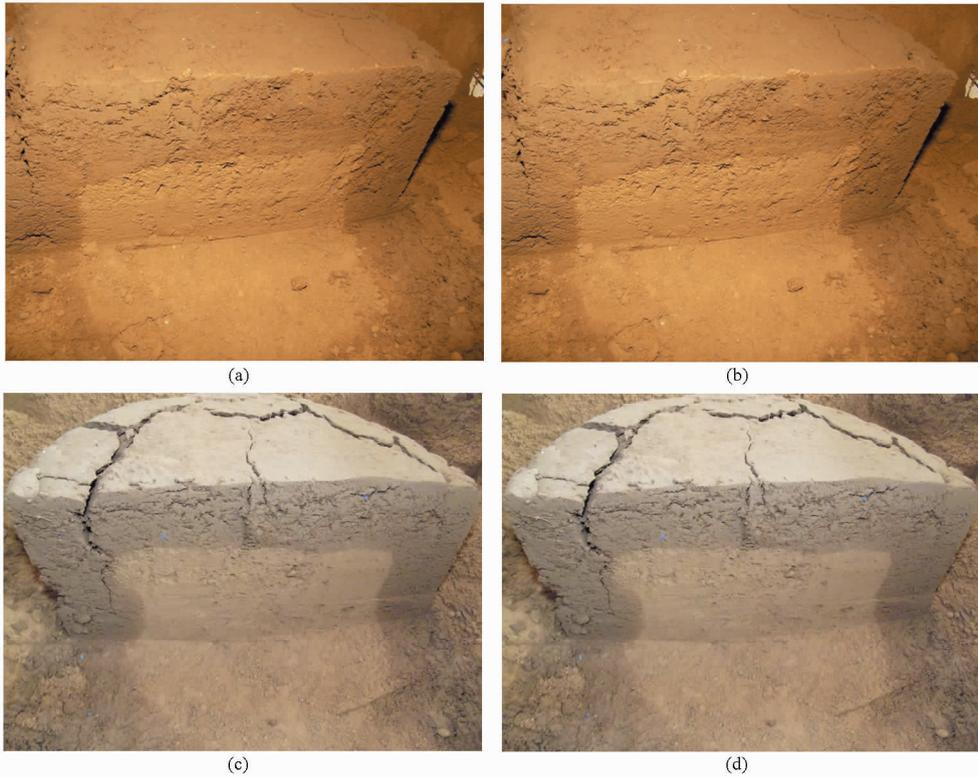


图 3 1.2 g/cm<sup>3</sup> 容密度土壤不同能量打击下土壤湿润位置

Fig. 3 Wetted area of 1.2 g/cm<sup>3</sup> soil bulk density under different hammering energies  
(a) 1 kg 铁锤 (b) 2 kg 铁锤 (c) 4 kg 铁锤 (d) 回填土壤

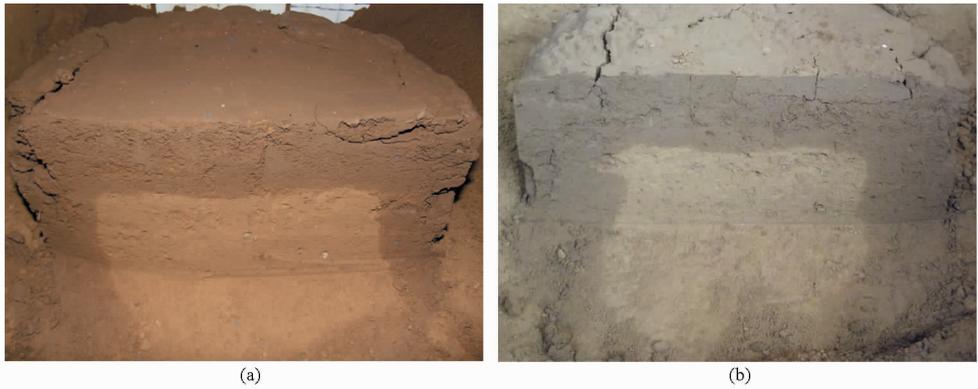


图 4 4 kg 铁锤打击下 1.3 g/cm<sup>3</sup> 和 1.4 g/cm<sup>3</sup> 容密度土壤湿润位置

Fig. 4 Wetted area of 1.3 g/cm<sup>3</sup> and 1.4 g/cm<sup>3</sup> soil bulk densities  
(a) 1.3 g/cm<sup>3</sup> (b) 1.4 g/cm<sup>3</sup>

表 1 不同条件下垂直入渗深度和侧向入渗宽度测量结果

Tab. 1 Vertical and radial infiltration depths under different experimental conditions

土壤干体积 容密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	铁锤质 量/kg	重复 1			重复 2		
		入渗环内 填土 z/cm	z/ cm	w/ cm	入渗环内 填土 z/cm	z/ cm	w/ cm
1.2	1		4.5	4.3	5.8	5.6	
	2	8.6	5.2	5.4	8.5	5.4	
	4		4.8	5.2	5.5	6	
1.3	1		6.1	6.1	6.5	6.1	
	2	8.9	5.5	6.6	8.6	6.3	
	4		5.7	5.7	6.3	6.1	
1.4	1		7.4	7.3	7	6.5	
	2	9.0	6.9	6.6	8.8	6.2	
	4		6.4	6.5	6.3	6.5	

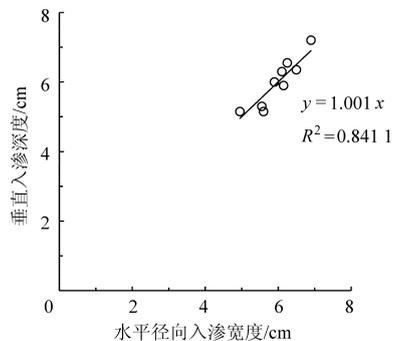


图 5 垂直入渗和径向入渗的比较

Fig. 5 Comparison of vertical and radial infiltration depths

代替  $t$  时刻的瞬时入渗率。用式(2)计算各试验工况下砸入法和模拟真实一维入渗法测得的同时段土壤初始入渗率,对比 2 组试验数据,结果如图 6 所示。砸入法测得的初始入渗率是回填法的 3.26 倍,说明环式入渗仪测得土壤初始入渗率约是模拟真实一维入渗率的 3.26 倍,这即表明环式入渗仪测量初始入渗率的误差。

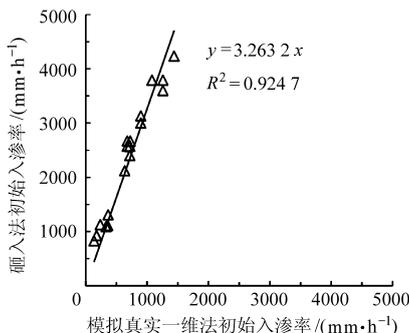


图 6 砸入法与模拟真实一维法垂直初始入渗率对比

Fig.6 Comparison of initial vertical infiltration rates between hammered-in and simulated true one-dimensional methods

砸入法 2 次重复获得的入渗率和对应模拟真实一维入渗法测得的入渗率的平均值如表 2 所示。

表 2 各试验状况下砸入法获得入渗率和模拟真实一维入渗率结果

Tab.2 Hammered-in and simulated 1-D initial infiltration rates under different experimental conditions

土壤干体积 容积密度/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	铁锤 质量/ kg	砸入法入 渗时间 $t/\text{min}$	砸入法入 渗率/ ( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ )	模拟真实 一维入渗率/ ( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ )
1.2	1	0.37	3 300.00	1 080.00
	2	0.35	3 459.95	1 080.00
1.3	4	0.3	4 012.38	1 260.00
	1	0.53	2 258.82	678.00
1.4	2	0.46	2 619.05	699.00
	4	0.46	2 619.05	702.00
1.3	1	1.28	959.25	189.00
	2	1.19	1 015.56	210.00
1.4	4	0.99	1 216.81	243.00

### 3.3 由湿润体体积估算初始入渗率误差

由试验现象可知,环内入渗由地表向下的垂直入渗和侧壁向内的侧向入渗共同构成,因此环内湿润体体积为:垂直湿润体体积和侧壁湿润体体积。假设这两部分入渗在交汇后即停止入渗,入渗湿润体的体积为图 7 中的  $V_1$  和  $V_2$  构成,总的湿润体体积  $V = V_1 + V_2$ 。

$V_1$  为倒立圆台,其体积由式(3)计算,圆台高度为  $z$ ,两底面直径分别为  $D$  和  $D - 2w$ 。其体积为

$$V_1 = \frac{1}{2} \frac{\pi D^2 + \pi(D - 2w)^2}{4} z \quad (3)$$

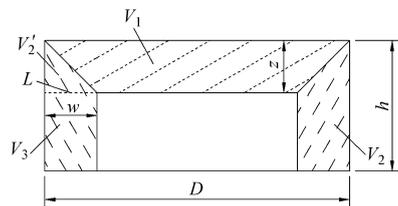


图 7 湿润体体积计算图

Fig.7 Schematic diagram of wetted soil volume

式中  $V_1$ ——圆台体积,  $\text{cm}^3$

$D$ ——入渗环直径,  $\text{cm}$

$V_2$  为侧壁湿润体体积,由  $V'_2$  和  $V_3$  构成。 $V'_2$  由高度为  $z$  直径为  $D$  的圆柱体体积减去圆台体积  $V_1$  计算得到

$$V'_2 = \frac{1}{4} \pi D^2 z - V_1 \quad (D \geq d) \quad (4)$$

$V_3$  为  $L$  以下所形成的圆环形湿润体体积,由  $L$  下部整个土柱体积减去未湿润体积计算得到

$$V_3 = \frac{1}{4} \pi D^2 (h - z) - \frac{1}{4} \pi (D - 2w)^2 (h - z) \quad (5)$$

$$V_2 = V_3 + V'_2 \quad (6)$$

由式(3)~(6)即可求得湿润体体积  $V, V = V_1 + V_3 + V'_2$ 。将  $V_1 + V_2$  与  $V_1$  之比如图 8 所示。图 8 显示总的湿润体体积是垂直湿润体体积的 2.6 倍,侧壁入渗造成湿润体体积增加,进而造成总的入渗水量远大于垂直入渗水量。

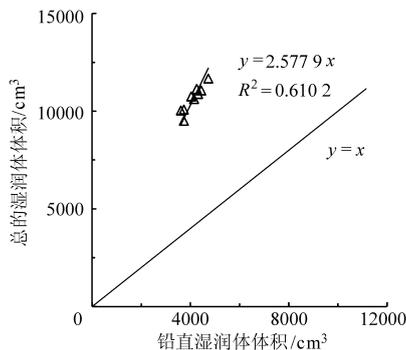


图 8 总的湿润体体积与铅直湿润体体积关系

Fig.8 Relationship between total wetted soil volume and vertical wetted soil volume

由  $V_1, V_2$  的计算式推导  $V_1 + V_2$  与  $V_1$  之间的比例关系,结果为

$$\frac{V_1 + V_2}{V_1} = 2 \frac{D^2 (h - z) - (D - 2w)^2 (h - z) + D^2 z}{z [D^2 + (D - 2w)^2]} \quad (7)$$

若入渗仪入土深度  $h$  为零,则侧向入渗宽度  $w$  也为零,式(7)的值为 1,侧壁湿润体体积为零,湿润体体积即为垂直体积;即侧壁入渗造成的环式入渗仪测量误差为零。

## 4 结束语

设计了一种可剖分的环式入渗仪,采用单次不同能量的打击装置,得到检验环式入渗仪测量土壤初始入渗率效果的试验方法。采用本装置和试验方法,试验发现环式入渗仪内土壤水分入渗是由垂直入渗和侧向入渗共同构成;垂直入渗深度为径向入渗宽度的 1.001 倍。综合砸入法测得入渗率和模拟

一维真实入渗率,砸入法测得的结果大约是模拟一维真实入渗率的 3 倍。试验现象说明环式入渗仪测量得到的初始入渗率偏大,原因是环壁和土壤之间由于打击入渗环入土时产生缝隙,形成优先流造成。试验数据表明环式入渗仪测得的土壤初始入渗率大约偏高 3 倍。研究结果可为评估环式入渗仪测量的土壤入渗率提供借鉴。

## 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: 27-36.
- 2 Perroux K M, White I. Designs for disc permeameters[J]. Soil Science Society of America Journal, 1988, 52(5): 1205-1215.
- 3 Smettem K R J, Clothier B E. Measuring unsaturated sorptivity and hydraulic conductivity using multiple disc permeameters[J]. Journal of Soil Science, 1989, 40(3): 563-568.
- 4 Ogden C B, Van Es H M, Schindelbeck R R. Miniature rain simulator for field measurement of soil infiltration[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61(4): 1041-1043.
- 5 Lei T W, Liu H, Pan Y H, et al. Run off-on-out method and models for soil infiltrability on hill-slope under rainfall conditions[J]. Science in China Series D, 2006, 49(2): 193-201.
- 6 Lei T W, Pan Y H, Liu H, et al. A run off-on-ponding method and models for the transient infiltration capability process of sloped soil surface under rainfall and erosion impacts[J]. Journal of Hydrology, 2006, 319(1): 216-226.
- 7 雷廷武,毛丽丽,李鑫,等. 土壤入渗性能的线源入流测量方法研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 1-4.  
Lei Tingwu, Mao Lili, Li Xin, et al. Method for measuring soil infiltrability with linear run-on of water[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(1): 1-4. (in Chinese)
- 8 Bouwer H. Intake rate: cylinder infiltrometer[M] // Klute A. Methods of soil analysis, Madison, WI: American Society of Agronomy, Inc., 1986: 825-843.
- 9 Bodhinayake W, Si B C, Noborio K. Determination of hydraulic properties in sloping landscapes from tension and double-ring infiltrometers[J]. Vadose Zone Journal, 2004, 3(3): 964-970.
- 10 刘继龙,张振华,谢恒星,等. 烟台棕壤土饱和导水率的初步研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 129-132.  
Liu Jilong, Zhang Zhenhua, Xie Hengxing, et al. Preliminary study on the saturated hydraulic conductivity of brown forest soil in Yantai[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(11): 129-132. (in Chinese)
- 11 Fattah H A, Upadhyaya S K. Effect of soil crust and soil compaction on infiltration in a Yolo loam soil[J]. Transactions of the ASAE, 1996, 39(1): 79-84.
- 12 Diamond J, Shanley T. Infiltration rate assessment of some major soils[J]. Irish Geography, 2003, 36(1): 32-46.
- 13 Orradottir B, Archer S R, Arnalds O, et al. Infiltration in Icelandic Andisols: the role of vegetation and soil frost[J]. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2008, 40(2): 412-421.
- 14 Moko T S, Dikinya O, Patrick C. Comparative assessment of water infiltration of soils under different tillage systems in eastern Botswana[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2009, 34(4): 316-323.
- 15 Diamond J, Shanley T. Infiltration rate assessment of some major soils[J]. Irish Geography, 2003, 36(1): 32-46.
- 16 雷廷武,张婧,王伟,等. 土壤环式入渗仪测量效果分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(12): 99-104.  
Lei Tingwu, Zhang Jing, Wang Wei, et al. Assessment on soil infiltration rates measured by ring infiltrometer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(12): 99-104. (in Chinese)
- 17 冶运涛,伍靖伟,王兴奎. 双套环测定土壤渗透系数数值模拟分析[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(3): 14-18.  
Ye Yuntao, Wu Jingwei, Wang Xingkui. Numerical simulation of double-ring measurement on hydraulic conductivity[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2007, 26(3): 14-18. (in Chinese)
- 18 任宗萍,张光辉,王兵,等. 双环直径对土壤入渗速率的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 94-97.  
Ren Zongping, Zhang Guanghui, Wang Bing, et al. Effects of double-ring diameter on soil infiltration rate[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(4): 94-97. (in Chinese)
- 19 Lai J B, Luo Y, Ren L. Buffer index effects on hydraulic conductivity measurements using numerical simulations of double-ring infiltration[J]. Soil Science Society of America Journal, 2010, 74(5): 1526-1536.
- 20 李智广. 水土流失测验与调查[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005: 71-77.

## A New Experimental Method for Observing Initial Soil Infiltration under Ring Infiltrometer

Zhang Jing<sup>1</sup> Lei Tingwu<sup>1,2</sup> Zhang Guanghui<sup>2,3</sup> Cai Chongfa<sup>4</sup> Huang Yanhe<sup>5</sup> Yang Xiusheng<sup>6</sup>

(1. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China

3. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

4. College of Resource and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

5. College of Resource and Environmental Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

6. Department of Natural Resources Management and Engineering, University of Connecticut, Storrs, CT 06269, USA)

**Abstract:** The initial soil infiltration rate affects and determines rainfall runoff, hydrological processes and soil erosion process. A new experimental method and device were suggested to test the initial infiltrability of soil under ring infiltrometer. The water distribution in the soil profile as made by the initial infiltrated water was visually observed and the initial process of soil infiltration was estimated. The specially constructed ring could be disassembled into two halves so as to conveniently observe the distribution of the infiltrated water. The detailed structure of the special designed ring and its application methodologies were detailed. An infiltration ring made of plexiglass was used to comparatively observe the 1-D infiltration process with refilled soil of the same density. The diameter of the disassemble ring was 35 cm, as the standard. A series of infiltration experiments were conducted with silt loam taken from Beijing. The experiment involved three soil bulk densities, 1.2 g/cm<sup>3</sup>, 1.3 g/cm<sup>3</sup>, and 1.4 g/cm<sup>3</sup> and three hammering energy levels, determined by the weights of hammers of 1 kg, 2 kg, 4 kg, freely falling down from 1 m height. Two liters of water were used for the observations in every experiment, with two replicates. The wetted soil volume in the ring showed that the actually wetted soil column by the infiltrated water consisted of the radial/horizontal infiltration caused by the gaps between the ring wall and soil and the vertical infiltration from the ground surface. The preferential flow between the ring wall and the soil significantly influenced the accuracy of the measured infiltration rate. The errors increased with the increase of soil bulk density. The observed initial infiltration, in terms of the radial infiltration width and the vertical infiltration depth was approximately equal. The depth of vertical infiltration was 1.001 times of radial infiltration width. The initial infiltration rate measured was 3.3 times of the simulated 1-D initial infiltration rate. This study will supply a method for assessing soil infiltration rate measured by ring infiltrometer.

**Key words:** Ring infiltrometer Experiment equipment Measurement effect Radial infiltration