

泥石流多发区蒋家沟流域的下渗与产流特点

郭晓军¹, 崔鹏¹, 朱兴华^{1, 2}

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室/中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 在云南东川蒋家沟泥石流源区多个典型点, 进行野外下渗试验得出蒋家沟流域宽级配土的下渗特征。试验发现: 1. 下渗曲线皆较好满足霍顿下渗公式; 2. 下渗率比较大, 主要土壤红黄壤的各种土地利用类型的稳定下渗率都在 0.08 mm/s 以上; 3. 不同土壤类型的稳定下渗率按大小排序依次为: 砾石土 > 红黄壤 > 燥红土, 红黄壤的各种土地利用类型的稳定下渗率按大小排序依次为: 耕地 > 林地 > 灌木丛 > 裸地(滑坡后壁) > 草地。蒋家沟流域宽级配土决定了降雨时壤中流产流占有很大比例, 在径流场进行人工降雨, 采集前期土壤水、壤中流和降雨样品, 通过测试其中的稳定同位素浓度, 利用同位素分割径流的原理, 发现前期土壤水在壤中流产流中起着不可忽略的作用。降雨时, 大量雨水下渗入土体, 使孔隙水压力增加, 前期土壤水位于湿润峰的前端, 因此壤中流产流初期, 前期土壤水占有很大的比例, 达到 86.46%。随着降雨时间的持续, 雨水逐渐取代前期土壤水的作用, 导致产流中本次降雨的比例逐渐升高, 试验结束时达到 85.63%。可以推断, 短历时暴雨时, 降雨强度大于下渗率, 该流域以超渗产流为主, 易发生坡面泥石流; 长时间小强度降雨时, 该流域以蓄满产流为主, 壤中流占有很大比例, 本次降雨是泥石流暴发的诱发因素, 但不一定是水量的主要供给源。

关键词: 渗透试验; 壤中流; 同位素; 宽级配土; 蒋家沟

中图分类号: P642.23, TV121

文献标识码: A

泥石流起动机理是泥石流研究的核心问题。按泥石流形成的动力条件, 可以将泥石流划分为土力类泥石流和水力类泥石流^[1]。前者的主要特征是泥石流初期土体运动中勿需水体提出动力, 而靠自身重力沿坡面的剪切分力发生和维持运动。蒋家沟的泥石流多属于这种类型, 即由滑坡转化成为泥石流, 在蒋家沟的泥石流源区宽级配土中, 降雨时, 土体中下渗趋势是上部土体渗透性增大, 下部土体的渗透性减小^[2], 在滑动面形成相对隔水层, 在隔水层产生壤中流, 导致滑动面发生滑动产生滑坡, 进而暴发泥石流。因此, 研究蒋家沟泥石流源区土体的下渗过程和壤中流的产流机制是非常有必要的。

土壤特征和土地利用因子均会对水分入渗产生直接影响, 土壤的水理性质决定了土壤吸水性和透

水量的大小和变化, 而土壤的吸水性、持水性和透水性的变化直接影响水分的入渗^[3], 土地利用方式能改变土壤的孔隙度, 进而改变土壤的下渗率^[4]。

宽级配砾石土表现出不同于一般窄级配土体的渗透特性。这方面, 陈宁生^[5]等曾采用径流产流试验对泥石流源区弱固结砾石土的渗透特性进行了研究。王裕宜^[6]等曾利用改进 70 型渗透仪, 选取泥石流砾石土的细颗粒部分进行室内的渗透试验, 分析入渗过程的研究。陈晓清^[7]等人在蒋家沟支流多照沟进行人工降雨下滑坡转化泥石流试验, 得出多照源区不同土地利用条件下下渗曲线。本文作者在前人工作的基础上, 选取蒋家沟支流门前沟、大凹子沟、老蒋家沟不同土壤类型和土地利用类型, 采用双环法研究其水分入渗特征, 在东川泥石流观测站附

收稿日期(Received date): 2011-08-11; 改回日期(Accepted): 2012-02-20。

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究(973)项目(2008CB425802)和国家自然科学基金项目(06K1100100)。[The national key basic research(973) and the natural science foundation of China(06K1100100)。]

作者简介(Biography): 郭晓军(1985-), 男, 山西省运城人, 硕士, 主要研究方向为山地水文学。[Guo Xiaojun(1985-), male, born in Shanxi Province, master, mainly engaged in hydrology.] E-mail: sblong2003@yahoo.com.cn。

近的径流小区进行人工降雨试验,分析壤中流中水量成分,服务于该地区的下渗、产流和泥石流起动机理研究。

1 研究区概况

蒋家沟位于云南省的北部,系长江上游金沙江一级支流小江右岸的一条沟谷。蒋家沟泥石流发育典型、类型齐全、过程完整、流态多变,这就为开展泥石流观测实验提供了得天独厚的天然条件,被世界同行誉为“泥石流博物馆”。

流域内出露的地层岩性主要为下元古代昆阳群上组和下组的变质岩、页岩,其次为上震旦纪灯影组白云岩和第四纪沉积物。小江大断裂从沟口通过,地震破坏了山体的稳定性,降低了岩石强度,导致岩层破碎,加上不合理的人类活动,造成水土流失极其严重。这些为宽级配土体的形成提供了良好的条件。

蒋家沟源区的土壤主要分为三种(图1):燥红土、红黄壤、砾石土。其中燥红土面积较小,约占蒋家沟面积的5.25%,红黄壤是源区的主要土壤类型,约占总面积的63.33%,砾石土是主要分布在滑坡崩塌体区域,面积约占31.42%。

蒋家沟源区的土地利用类型主要有耕地、林地、灌木丛、草地和裸地。

2 下渗特征

2.1 试验点的选取

本文选取了蒋家沟流域多个试验点进行多组试验,试验点选取见图2。试验点中,林地、草地和灌

木丛的植被覆盖率均在70%左右,滑坡体和耕地为裸地,代表该地区夏季(雨季)的基本土地覆盖类型。

2.2 试验方法

对于宽级配砾石土体的取样,要保证土体的结构不受扰动很困难,甚至不可能,从而采用室内渗透试验法来测试存在困难。本文采用土体原位渗透试验。

试验采用双环法。试验时,先将双环打入土体中10 cm深,环中插一根标尺来观测水位。分别向内外环注水,内外环分别用两个带刻度尺的水桶供水,在测试时按照设定的时间间隔记录内环下渗的水量。连续记录内环供水量。红黄壤和砾石土,由于下渗率偏大,所以各种土地利用类型上的试验均持续90~120 min,燥红土由于下渗率较小,相对比较容易达到饱和和下渗率,因此各种土地利用类型上的试验持续60 min。

2.3 试验结果

土体的颗粒级配是土体结构的重要参数,在泥石流源区占主要地位的红黄壤中的各试验点均采取了土样,通过颗粒分析试验,得到了颗粒分布曲线图,见图3。土壤中砾石成分比重较大,红黄壤中砾石比例达到51%,粘粒和粉粒较少,约占10%和9%,其余为砂粒;燥红土中砾石比例相对较小,为39%,粘粒和粉粒分别占8%和9%,其余为砂砾;砾石土中砾石比例多达71%,粘粒和粉粒分别只占3%和4%,其余为砂粒。

水分渗入土壤是水分在分子力、毛细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以及运行特征可分为三个阶段:在

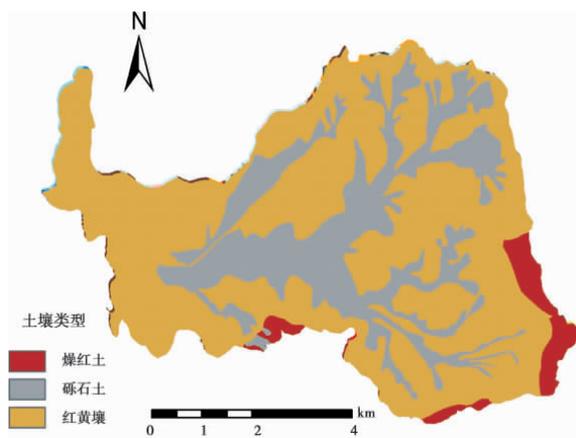


图1 蒋家沟土壤分类图

Fig.1 Soil types in Jiangjia Ravine

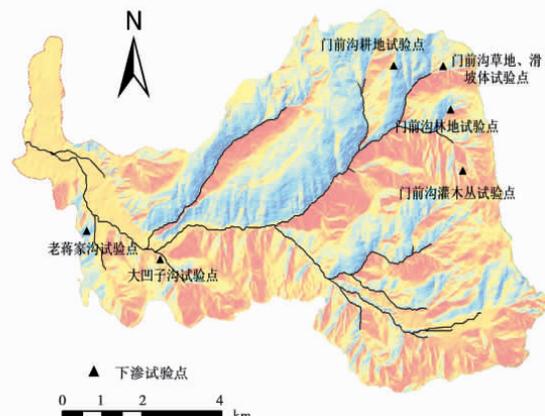


图2 渗透试验试验点位置图

Fig.2 Location of infiltration experiment spot

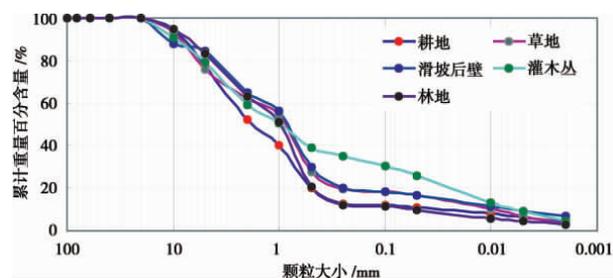


图 3 红黄壤土壤级配曲线

Fig. 3 Grain distribution curve for Red-yellow soil

渗润阶段,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。

野外双环试验是在充分供水的情况下进行的。在降雨强度足够大的情况下,蒋家沟流域出现超渗产流。根据试验结果拟合出各种土壤类型下不同土地利用类型中的下渗曲线,发现:结果较好地拟合成霍顿公式^[8],其基本形式为

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c) \exp(-kt) \quad (1)$$

式中 f_t 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,反映土壤的下渗性能。各种土壤类型和土地利用类型的稳定下渗率见表 1,土壤类型下不同土地利用类型中的下渗曲线见图 4。

表 1 最终稳定下渗率

Table 1 Stable infiltration rate in various types of soil and landuse /((mm/s)

土地利用	土壤类型		
	燥红土	红黄壤	砾石土
草地	0.056	0.075	—
林地	—	0.149	—
耕地	0.079	0.156	—
灌木丛	0.014	0.115	—
裸地	0.014 0	0.091 0	0.129 6

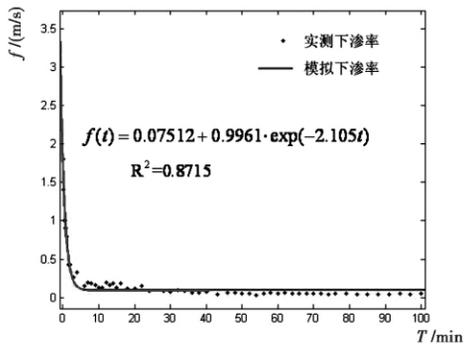
陈晓清等人研究得出该地区宽级配土壤下渗的特殊性在于:水在下渗过程中,不是单一的水体运移,而是水体和土体中的细颗粒一起在土体中运移^[2]。这种现象在本次试验中也有所体现,当水体渗入土体时,由于土壤孔隙度较大,土体中的细颗粒随着渗流水体一起运移,导致浅层土壤中的细颗粒

流失,使上层土壤下渗率变大,并且在开始的一定时间内都维持较大的下渗率,同时最终稳定下渗率也较大。因此,孔隙率越大的土壤,下渗过程中渗润阶段持续的时间相应越长,最终稳定下渗率也相应越大。

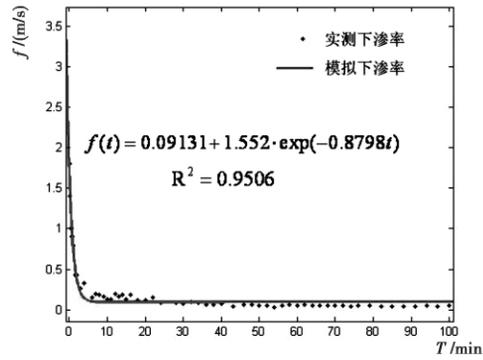
总的来看,砾石土主要分布在河道两旁,由滑坡崩塌体和泥石流堆积体构成,约占该地区面积的 31.4%,与滑坡后壁相比,砾石土的孔隙率较大,因此它的最终稳定下渗率较大,约为 0.13 mm/s,渗润阶段持续的时间也较长,约为 10 min。红黄壤是蒋家沟泥石流源区的主要土壤类型,耕地、林地、灌木丛、滑坡后壁、草地等试验点的孔隙度分别为 46.4%、40.3%、39.6%、43.1%、37.0%。该区的耕地主要以种植土豆为主,根系很浅,而且由于季节性人为耕作,导致土体中细颗粒更容易流失,因此最终稳定下渗率最大,约为 0.16 mm/s;林地和灌木丛由于植物根系的作用,导致土壤孔隙度变大,因此最终稳定下渗率也较大,分别约为 0.15 mm/s 和 0.12 mm/s;对于草地,由于其表面长满草被,根系非常发达,可以在表面形成相对致密的阻水层,减小原位土体渗透性,因此与裸地(滑坡后壁)相比,下渗率较小。从图 4 中可以看出,红黄壤各种土地利用方式的稳定下渗率从大到小依次为:耕地 > 林地 > 灌木丛 > 裸地(滑坡后壁) > 草地。燥红土主要分布在蒋家沟海拔较高的地区,面积只占该流域的 5.3% 左右,这种土壤由于自然风化和人类活动的作用,表层比较松散,表层以下颗粒相对比较密实,孔隙度较小,草地和荒地试验点的孔隙度分别为 33.8%、31.2%。并且试验中发现,在有水渗入的情况下,表层的松散层下会形成板结层,起到隔水层的作用,因此渗润阶段持续的时间最短,不超过 5 min,下渗率也最小,试验中燥红土的草地和荒地的稳定下渗率分别是 0.06 mm/s 和 0.014 mm/s 左右。

3 壤中流产流特征

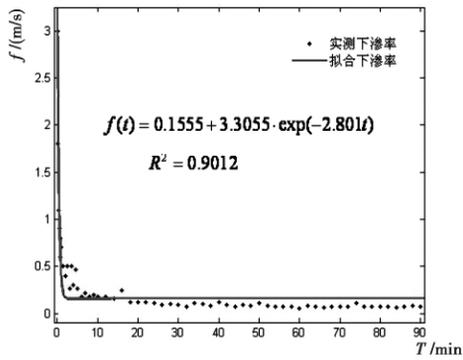
蒋家沟地区这种宽级配土的产流是比较特殊的,陈晓清等在进行人工降雨试验过程中,观察到降雨还没有明显地产生地表径流时,在坡脚就有浑水出流^[7],从表 1 同样也可以看出,该地区土壤的下渗率普遍较大,因此在天然降雨过程中,如果降雨面积和降雨强度不够大,将难以大面积产生地表径流,降雨产流中壤中流占很大的部分。事实上,泥石流多发地区下垫面的特点是具有很厚的松散堆积层,降



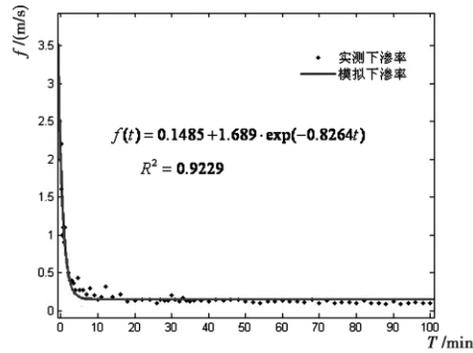
a. 红黄壤草地地下渗曲线
a. Infiltration curve of grassland in Red-yellow soil



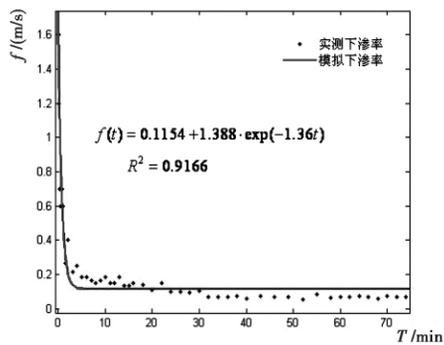
b. 红黄壤裸地(滑坡后壁)下渗曲线
b. Infiltration curve of landslide posterior wall in Red-yellow soil



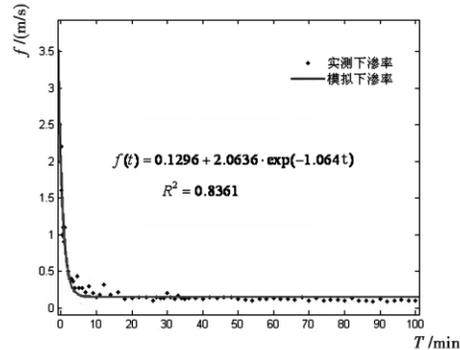
c. 红黄壤耕地地下渗曲线
c. Infiltration curve of plowland in Red-yellow soil



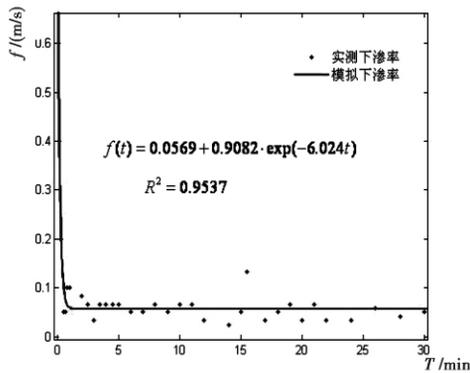
d. 红黄壤林地地下渗曲线
d. Infiltration curve of woodland in Red-yellow soil



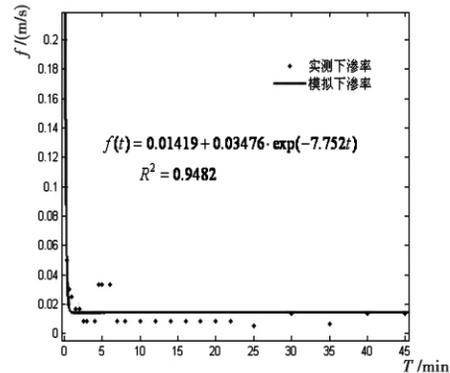
e. 红黄壤灌木丛下渗曲线
e. Infiltration curve of shrubbery in Red-yellow soil



f. 砾石土裸地(滑坡体)下渗曲线
f. Infiltration curve of gravelly soil



g. 燥红土草地下渗曲线
g. Infiltration curve of grassland in Dry-red soil



h. 燥红土荒地下渗曲线
h. Infiltration curve of wasteland in Dry-red soil

图 4 各种土壤不同土地利用类型的下渗曲线

Fig. 4 Infiltration curve of all kinds of landuse in different soils

雨极易通过入渗形成土壤水,因此可以推断,降雨时,前期土壤水在该地区产流中起着很重要的作用。

蒋家沟平时流量很小,汛期平均流量也只在 0.2~0.5 m³/s 间(2008 年),另外,泥石流多发生在每年的 7 月和 8 月,而 2001—2007 年间蒋家沟流域日降雨量超过 30 mm 的只有 6 d,超过 35 mm 的只有 1 d,最大 1 h 降雨量不超过 20 mm(以上数据来自于蒋家沟蚂蚁坪雨量观测站),然而大规模泥石流暴发时,固液两相物充满整个河道,宽度可达 100~200 m,深度可达到 1~2 m,其中水分含量远远超过沟道平时流量,有时甚至超过本次降雨总量。洪峰流量与平时径流量的比值远远超过一般的河流,这其中包含大量的因前期降雨而储存在土壤中的水分。为了探求该地区壤中流中的水量来源和产流机制,作者于 2009 年 10 月通过人工降雨,用稳定同位素对壤中流流量进行划分。

作者在 2009 年 7 月对东川泥石流观测站旁边的一个径流小区进行了人工处理,在地下 1 m 处设置了隔水层。小区周围用水泥板围埂,试验区域面积为 10 m×4 m,坡度大约为 16°。试验前,采用中国科学院地理科学与资源研究所所制真空泵抽取前期土壤水,试验前一天用人工降雨将径流小区中土壤润湿,次日 6:00 开始在小区顶部进行人工降雨,至 10:00 开始产生壤中流,此后继续进行小强度人工降雨,并每隔一段时间采集壤中流样品。试验完成之后将样品送往测试中心测试。用同位素划分径流的方法划分壤中流中水分来源。旨在研究该地区宽级配土中壤中流产流成分以及产流特征。

同位素分割径流的原理是质量平衡方程和浓度平衡方程。本文采用时间源划分方法,即将径流划分为事件水和事件前水,事件水一般由降雨产生,而事件前水指降雨事件前已经储存在土壤中的水分。它的基本方程如下^[9]

$$Q_t = Q_{pe} + Q_e$$

$$C_t Q_t = C_{pe} Q_{pe} + C_e Q_e \quad (2)$$

式中 Q_t 为总径流; Q_e 、 Q_{pe} 分别为事件水和事件前水总量; 其相应的同位素浓度(用某种同位素表示),分别为 C_t 、 C_e 、 C_{pe} ,用质谱仪测试结果表现为 δ 值, δ 为各水源在总水源中所占的比例。

人工降雨的同位素浓度是持续不变的,其中 $\delta^2\text{H}$ 浓度为 -79.53‰,降雨前土壤水中 $\delta^2\text{H}$ 浓度为 -85.47‰,地下水中同位素浓度测试结果如表 2。

利用公式(2),可分别解得前期土壤水和本次

降雨在该次壤中流中所占的比例(表 3)。

结果如上表所示,壤中流产流初期,前期土壤水占较大比例,含量达到 86.46%,本次降雨所占的比例较小,仅为 13.54%,随着降雨时间的持续,土壤水在壤中流中所占比例逐渐减少,而本次降雨在壤中流中的比例逐渐增大,到产流结束时,已超过壤中流总产流的 85.63%。

蒋家沟深厚的泥石流堆积体层,使得一次降雨时,大量水分入渗土体,以毛管水的形式储存在土壤中,这就是该地区蕴藏着丰富的土壤水的原因。在下一次降雨时,入渗的雨量使土壤中水分含量增加,使土壤中水受到压力向下运移,在下渗过程中处在湿润峰的并非是本次降雨的水,而是前期土壤水,因此在壤中流的产流前期,前期土壤水占有很大的比例,随着降雨时间的持续,前期土壤水逐渐被排出,在土壤中,本次降雨逐渐取代前期土壤水成为土壤水含量的主要部分,同时,在壤中流的水分含量中,本次降雨的比例也逐渐增加。

表 2 壤中流样品中 $\delta^2\text{H}$ 浓度
Table 2 concen $\delta^2\text{H}$ tration in interflow

采样时间/h	$\delta^2\text{H}$ 浓度/‰
10:00	-84.66
11:00	-84.65
12:00	-83.83
13:00	-83.90
14:00	-82.61
16:00	-82.05
17:00	-81.74
19:00	-80.38

表 3 壤中流分割结果
Table 3 Interflow segmentation result

时间/h	前期土壤水所占比例	本次降雨所占比例
10:00	86.46%	13.54%
11:00	86.20%	13.80%
12:00	72.38%	27.62%
13:00	73.63%	26.37%
14:00	51.85%	48.15%
16:00	42.50%	57.50%
17:30	37.18%	62.82%
19:00	14.37%	85.63%

4 结论与讨论

4.1 结论

笔者在野外充分供水情况下用双环下渗试验,获得了蒋家沟不同土壤和土地利用方式下土壤的下渗率,并且下渗曲线能很好地满足霍顿公式,相关系数在0.8以上。该地区的宽级配土壤有着特殊的下渗方式,即土体中细颗粒随着水体一起下渗,因此降水入渗时,会造成表层土壤中细颗粒流失,导致土体持续有较大的下渗率,即下渗时渗润阶段持续时间较长,同时最终稳定下渗率也比较大。野外双环试验发现,该地区三种土壤中,相同土地利用方式下,砾石土的下渗率最大,红黄壤次之,燥红土最小。在该地区泥石流源区的主要土壤类型红黄壤中,最终稳定下渗率大小顺序为耕地>林地>灌木丛>滑坡体>草地,依次为:0.16 mm/s, 0.15 mm/s, 0.12 mm/s, 0.09 mm/s, 0.07 mm/s, 试验当天各种土地利用方式的初始下渗率分别为3.46 mm/s, 1.83 mm/s, 1.64 mm/s, 1.50 mm/s, 1.07 mm/s。

根据野外双环试验的结果,以及前人的试验现象,发现蒋家沟蕴藏着丰富的土壤水,产流过程中壤中流起着很重要的作用,针对这一现象,作者在径流小区利用小强度人工降雨试验对该地区的壤中流进行径流分割,发现壤中流的产生初期,前期土壤水占有很大的比例,随着降雨时间的持续,前期土壤水的比例逐渐减少,到降雨后期,本次降雨的水量在壤中流中占主导地位。这个试验结果表明,在该地区壤中流产流中,本次降雨以前土壤中的水量对壤中流有着不可忽略的贡献,也就是说,前期降雨形成的前期土壤水,对该流域的降雨—产流过程起着很重要的作用。

从以上两个结论可以分析该地区的产流机制,既有超渗产流,也有蓄满产流。降雨强度大于下渗率时,以超渗产流为主,将产生大量地表径流,且下渗曲线很好地符合霍顿公式;当降雨强度小于下渗率时,以蓄满产流为主,产流中壤中流占有很大比例,并且前期土壤水在壤中流产流中起着很重要的作用。由此可进一步推断泥石流起动的的原因以及泥石流中水量的来源。由于蒋家沟坡面分布着大量松散物质,当降雨强度足够大时,如短历时暴雨,土壤会超渗产生大量地表径流,同时在暴雨大强度的冲击下,松散物质极易滑动,从而产生坡面泥石流,在

这种情况下,本次降雨是泥石流的诱发因素,同时也是大部分水量的来源;而如果降雨强度不大,如连续长时间的连绵细雨,由于入渗导致上层土壤的孔隙度增大,下层土壤的孔隙度变小,进而在滑动面形成相对隔水层,产生壤中流,则很容易使泥石流源区本来就很松散的土体发生滑坡或者崩塌,从而导致泥石流的发生,即发生崩塌型泥石流,由于该地区降雨—产流中前期土壤水的比例是很大的,加上滑坡崩塌土体中本身含有大量的孔隙水,因此泥石流发生初期,泥石流总水量中前期土壤水的比例将是很大的,随着降雨时间的持续,降雨逐渐入渗取代土壤中的前期土壤水,而滑动面的下渗率较小,也较易产生地表径流,泥石流中本次降雨的水量会逐渐增加,因此,可以得出降雨是本地区泥石流暴发的诱发因素^[10],但不是泥石流唯一水量来源的结论,这也解释了泥石流暴发时水量远超过平时流量的现象。

4.2 讨论

目前原地土壤入渗试验常用方法主要有两种:双环试验和人工降雨试验。相对于人工降雨试验,双环试验的代价较小,也更容易适应各种地形条件,因此被广泛应用。但双环试验也具有一定的误差,存在着两个问题:1. 打入双环的同时对土体产生扰动;2. 实际情况中往往从降雨一开始就下渗,而双环试验之前环内土壤上方已经有了一定高度的水量。因此会对试验结果造成一定影响。如果能进一步改善试验设备,使试验精度更高,则对研究土壤的入渗产流会有更好的贡献。

本文从下渗试验的结果推测出壤中流在该地区的降雨—产流中占很大的比例,进而对壤中流进行流量划分,来研究该地区的产流特征,具有一定的科学性。目前对于划分径流中各成分最准确的是同位素划分方法,通过稳定同位素可以将径流划分为坡面径流、壤中流、地下径流、栖息饱和径流等四种径流^[11]。但由于同位素分割流量方法实现的难度,以及蒋家沟地区水文研究基础的薄弱,本文并未对壤中流在该地区产流中的作用做进一步分析与验证。如果能进一步通过对径流的分割,对壤中流在产流中的作用进行验证,则结果将更有说服力。

参考文献 (References)

- [1] Wu Jishan, Kang Zhicheng, Tian Lianquan. Observation study in Jiangjia gully in Yunnan province [M]. Beijing: Science Press, 1990: 201-204 [吴积善,康志成,田连权. 云南蒋家沟泥石流观测研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 201-204]

- [2] Chen Xiaoqing ,Cui Peng ,Feng Zili ,et al. Artificial rainfall experimental study on landslide translation to debris flow. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2006 ,25(1) : 106 - 116 [陈晓清 崔鹏 冯自立 等. 滑坡转化泥石流起动的人工降雨试验研究[J]. 岩石力学与工程学报 2006 25(1) : 106 - 116]
- [3] Wu Qinxiao ,Han Bing ,Li Yangyang. Characteristics of soil infiltration in watersheds in Loess Hilly Region [J]. Science of Soil and Water Conservation 2004 2(2) : 1 - 5 [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] Mark E R ,Richard G L H ,Richard M I. Debris-flow initiation experiments using diverse hydrologic triggers [C]//Chen C L ed. Debris-flow Hazards Mitigation: Mechanics Prediction and Assessment. New York ,1997: 1 - 11
- [5] Chen Ningsheng ,Zhang Jun. The research of permeability on lose gravelly soil in debris flow original area [J]. Journal of Mountain Research 2001 ,19(1) : 169 - 171 [陈宁生 张军. 泥石流源区弱固结砾石土的渗透规律[J]. 山地学报 2001 ,19(1) : 169 - 171]
- [6] Wang Yuyi ,Zou Renyuan ,Liu Xiufeng. Interrelated research of relationship between debris flows trigger and permeational coefficient [J]. 1997 3(4) : 76 - 82 [王裕宜 邹仁元 刘岫峰. 泥石流启动与渗透系数的相关研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报 , 1997 3(4) : 76 - 82]
- [7] Chen Xiaoqing ,Cui Peng ,Chen Jie ,et al. Infiltration experiment of wide-graded gravel soil in the Jiangjia Ravine [J]. Journal of Mountain Research 2006 ,10(24) : 190 - 197 [陈晓清 崔鹏 陈杰 冯自立 王道杰. 云南东川蒋家沟宽级配砾石土原位渗透试验初步研究[J]. 山地学报 2006 ,10(24) : 190 - 197]
- [8] Horton R E. An approach toward a physical interpretation of infiltration capably [J]. Soil Sci Soc Am Proc ,1940 (3) : 399 - 417
- [9] Sklash M G ,Farvolden R N. The role of groundwater in storm runoff [J]. J Hydrol ,1979 43: 46 - 65
- [10] Cui P ,Yang K ,Chen J. Relationship between occurring of debris flow and antecedent precipitation: taking the Jiangjia gully as an example [J]. Science of Soil and Water Conservation ,1(1) : 11 - 15 2003 [崔鹏 杨坤 陈杰. 前期降雨对泥石流形成的贡献——以蒋家沟泥石流形成为例[J]. 中国水土保持科学 , 2003 ,1(1) : 11 - 15]
- [11] Lee E S ,Krothe N C. A four-component mixing model for water in a Karst terrain in south-central Indiana. USA. Using salute concentration and stable isotopes as tracers [J]. Chemical Geology , 2001 ,179: 129 - 143

Infiltration and Runoff Yield Characteristics in Jiangjia Ravine

GUO Xiaojun¹ , CUI Peng¹ , ZHU Xinghua^{1 2}

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Land Surface Progress /Institute of Mountain Hazards and Environment , CAS , Chengdu , 610041 , China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences , Beijing , 100049 , China)

Abstract: Infiltration characteristics were obtained by outdoors experiments on various typical points in debris flow source region in Jiangjia Valley. Some basic characteristics were presented , including 1) The infiltration capacity curve can be preferably fitted by Horton formula. 2) The infiltration intensity in this area is relatively hard. Saturated stable infiltration rates in all kinds of land use types in Red - Yellow soil which is the main soil type in this area are bigger than 0.08 mm/s. 3) To the three soil types , infiltration coefficient form great to small: gravelly soil → Red - Yellow soil → Dry Red soil; to different land use types in Red - Yellow soil , the sequence is: plowland → woodland → shrubbery → bare land(landslide back wall) → grassland. The interflow in this area plays an important role in the runoff because of the big infiltration capacity. An isotope separating interflow runoff during the artificial rainfall experiment was carried out in one plot. The samples of antecedent soil moisture , rainfall and interflow were collected , measured and analyzed. During the rainfall , infiltration increased the soil water content which made pressure to push the antecedent soil moisture migrate downward. So , it was possible that the antecedent soil moisture peak at the wetting front during the infiltration. Therefore , in the early stage of the runoff , the antecedent accounted for a very large proportion (86.46%) . As the time last , rainfall water gradually took the place of the antecedent soil moisture to be main part of water in the soil , meanwhile , the proportion of rainfall water in the underground water was also gradually increasing (85.63% in the end of the experiment) . It was deduced that during a short duration rainstorm , over-infiltrating runoff dominated and slope debris flow is easily to occur; during a long-time drizzle , stored-full runoff dominated the antecedent soil water plays a non-negligible role meanwhile , slump debris flow and landslide debris flow are easier to occur instead. This paper contributes the runoff producing and debris flow starting mechanism in this area.

Key words: infiltration experiment; interflow; isotope; macro porosity soil; Jiangjia Ravine.