

金沙江支流冲沟侵蚀区四种土地利用方式下土壤入渗特性研究^①

周 维^{1,2}, 张建辉¹

(1 中国科学院/水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 在保持原有植被条件下, 采用野外双环入渗法对金沙江支流安宁河谷冲沟侵蚀发生区 4 种土地利用条件下(荒草地活动沟、荒草地稳定沟、裸地活动沟、耕地)土壤入渗性进行研究。试验表明, 前 21.5 min 土壤平均渗透率和累计入渗量均以荒草地稳定沟为最大, 以裸地活动沟为最小, 其余二者居中。4 种土地利用条件下的入渗过程相似, 并且可以用考斯恰可夫 (косякова Н) 公式 $f(t) = at^b$ 得到很好的表达。植被能够有效增加土壤有机质的含量, 而后者对改善土壤结构起着显著作用。土壤中 >0.25 mm 水稳性团聚体, 尤其是其中的大粒径团聚体 (>3 mm) 含量较高, 有利于提高土壤入渗性能。根量是能反映入渗性能强弱的重要生物学指标之一。具有良好入渗性的土壤, 其地表径流减少, 冲沟侵蚀得到有效遏制。

关键词: 金沙江; 土地利用; 入渗性; 植被覆盖; 冲沟侵蚀

中图分类号: S157.1

土壤渗透性能是土壤重要的物理特性之一。就水土流失, 以及水在土壤中的储藏和为植物所利用而言, 入渗是至关重要的。为解决土壤改良和水土保持实际任务的需要, 科学工作者十分重视这一课题的研究。陈一兵^[1]实地对紫色土的渗透性能进行研究, 发现雨强及翻耕对土壤稳定浸透速率均无显著影响。唐泽军等^[2]研究发现在小雨强条件下更易形成土壤结皮, 土壤结皮显著地降低了土壤的降水入渗。李勇^[3]通过对黄土高原的研究发现, 植物根系强化土壤渗透能力主要取决于有效根 (<1 mm) 密度及其在土体中的盘绕状况。陈奇伯等^[4]对金沙江干热河谷不同类型植被改良土壤效应研究表明, 植被具有良好的改善土壤物理性能、化学特性和土壤能力的效应。张建辉等^[5]对云南元谋干热河谷造林区土壤入渗性能研究发现乔木生长与土壤渗透性能具有显著正相关关系, 地表枯枝落叶量与土壤渗透性关系也较密切。郑子成等^[6]研究发现加大地表粗糙度能减小径流, 增大入渗。Williams 等^[7]研究表明传统耕作会降低土壤有机质含量及稳定性, 植物根系对于土壤有机质和土壤稳定性的提高具有重要

作用。陈建刚等^[8]对岷水河流域不同植被覆盖条件下土壤入渗模型比较分析得出, 在入渗 2 h 左右考斯恰可夫 (косякова Н) 公式能取得较为理想的效果。

金沙江支流安宁河谷地区是长江上游典型代表地区, 该区地质地貌类型多样, 流域范围内有深切河曲、U 型谷、高原夷平面等地质地貌, 海拔高差大。气候的总体特征是河谷干暖, 山地冷湿, 光照丰富, 降水量少, 93% 的降水集中于 6—10 月。由于该地区降雨集中, 通常由于几次特大暴雨, 在土壤表面易形成结皮, 不易下渗, 形成细沟侵蚀, 进而发展到危害性极大的冲沟侵蚀阶段。本文利用双环入渗法对金沙江支流安宁河谷地区不同土地利用条件下的土壤渗透性能进行研究, 从水文学特征的角度探讨金沙江干热河谷地区冲沟侵蚀形成的原因以及从生物学角度揭示植物根系对土壤入渗性的作用机制, 对于进一步揭示不同土地利用方式下土壤侵蚀规律, 探明不同地貌气候特征下土壤侵蚀机理十分必要, 为探明长江上游冲沟侵蚀的启动原理提供有益的补充。

^①基金项目: 科学技术部政府间国际科技合作项目 (02-4) 和国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2003CB 415202) 资助。

作者简介: 周维 (1980—), 男, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事沟谷侵蚀研究。E-mail: zhouw2003@mails.gscas.ac.cn

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于金沙江支流安宁河谷,四川西昌礼州镇(102°10' E, 28°6' N),距离西昌城北 23 km 处。地貌为山地,海拔 1500 m 以上,年均气温 17℃,年降水量 1000 mm,降雨集中在 6—9 月。土地利用类型主要为以扭黄茅(*Heteropogon contortus*)生长为主的荒草地,其覆盖度 90%以上,其间有零星的桉树(7 年树龄)和油桉(2 年树龄)分布,以麦(*Tritium aestivum* L)-玉(*Zea mays* L)-苕(*Ipomoea batatas* Lam)轮作为主的耕地以及裸地。土壤母质为新生界第四系的河谷冲积土,土层深厚。就耕地而言,耕作层较浅,多在 15 cm 以下;土壤有机质积累少,一般在 20 g/kg 以下。

1.2 研究方法

在研究区沿山坡选择 4 个试验点:包括 3 条冲沟和 1 块耕地,其中两条冲沟有植被覆盖,覆盖度 90% 以上,主要是扭黄茅,以及零星分布的桉树。两条冲沟的一条是沟头稳定的冲沟(沟头位置有一大丛扭黄茅覆盖,以及零星分布的 7 年龄桉树),另一条是活动沟(沟头位置仅有零星扭黄茅分布);第 3 条冲沟是裸地活动沟,其植被覆盖度<5%。选取的耕地(由此处修建大型水渠挖出的土壤覆盖于裸露的岩石地表而形成,种植的作物为玉米,采样时已经收获,耕地处在闲置中,土壤覆盖的厚度约 10 cm)位于山脚,无侵蚀发生。对于有植被覆盖的

两条冲沟,采用收获法测定植物 1 m² 内地上部分干物重,且随机抽样测量植株高度。取根系分布密集的表土层(0~20 cm)体积为 10000 cm³ 的土壤样方内的根系进行分析,每一土地利用类型重复 2 次,测定根系密度及根量,分析根系对土壤入渗性的影响。各试验点分表层(0~20 cm)和亚表层(20~40 cm)采集土壤,采用常规方法分析测定水稳性团聚体含量、体积质量(容重)、有机质含量和机械组成^[9]。

利用双环法对土壤渗透性能进行研究。双环入渗试验点均设在冲沟的沟头位置。双环的内环直径 35.5 cm,高 25 cm,外环直径 50.5 cm,高 25 cm;双环打入土中 15 cm。内外环之间维持水层深度为 5 cm,始终保持内外环水面齐平,以防侧渗。以间隔 0.5、1、2、3、5、10、20、30、30、30 min 为计数点,监测直至稳定入渗为止,每个试验点均进行 3 次重复。

2 结果与分析

2.1 土壤渗透性能与时间的关系

研究区土壤初始渗透速率以荒草地稳定沟为最大(17.34 mm/min),其余 3 种土地利用条件下较低且基本相同(图 1)。在前 21.5 min 内,以荒草地稳定沟的平均渗透速率和累计入渗量最大(图 1、2)。在雨季,本区常发生短历时(20 min 以内)的暴雨,荒草地较强的入渗性能使得降雨产生的地表径流较

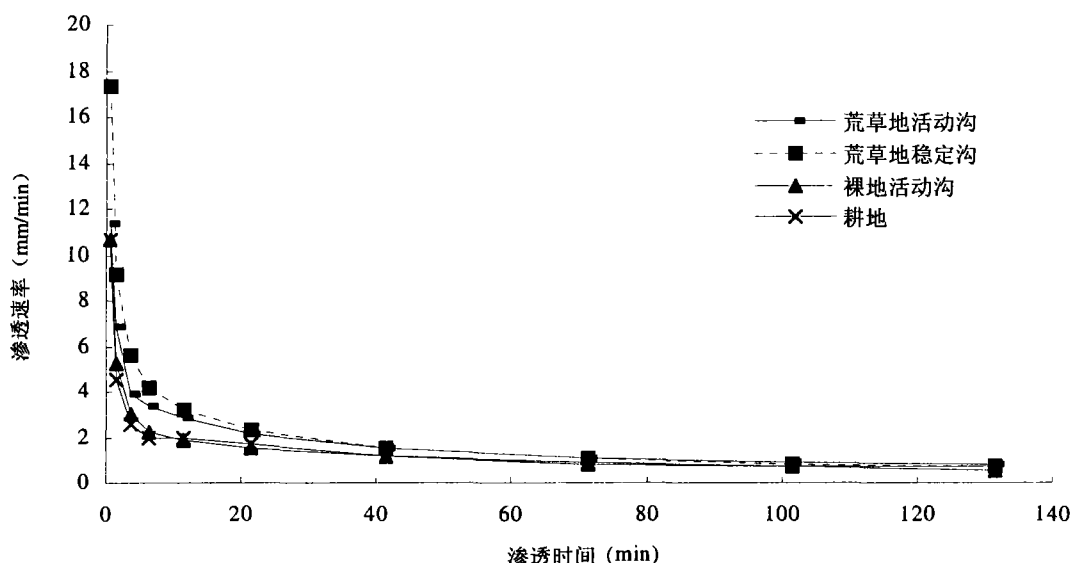


图 1 不同土地利用条件下土壤渗透性与时间的关系

Fig. 1 Relationship of time with soil infiltration under different patterns of land use

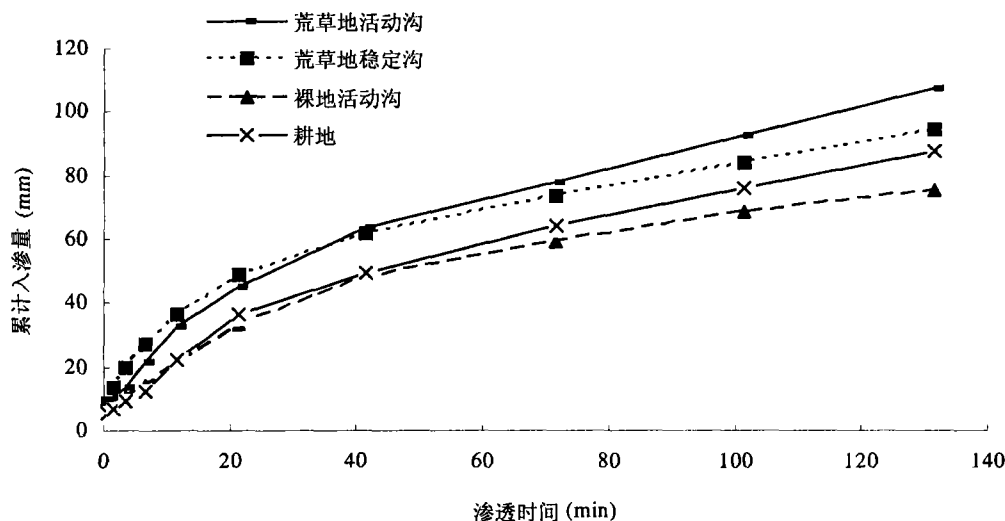


图2 累计入渗量曲线图

Fig. 2 Curves of cumulative infiltration

少,减少了对地表土壤的冲刷,说明土壤入渗性能和抗冲性能是密切相关的,具有较强入渗性的土壤也同时具有较强的抗冲性。裸地活动沟 131.5 min 内入渗总量最小 (75.67 mm),耕地、荒草地稳定沟、荒草地活动沟分别较高 16.30%、24.66%、41.84%,较少的入渗使裸地在降雨时产生更多的地表径流,加剧了冲沟的发育。

2.1.1 渗透速率与时间的关系 4种土地利用条件下的土壤入渗性表现为入渗初期 (0~10 min), 渗

透速率变化剧烈,然后趋于平缓,直到稳定(图1)。且这种土壤渗透速率随时间的变化规律可以用下列考斯恰可夫 (КОСЯКОВА Н) 公式得到较好的拟合。

$$f(t) = at^{-b}$$

式中 $f(t)$ 为渗透速率 (mm/min); t 为渗透时间 (min); a 、 b 为试验求得的参数 (表1)。

2.1.2 累积入渗量与时间的关系 从本区域常发生的历时短暴雨时段 (20 min) 来看,累积入渗量 (mm) 为荒草地稳定沟 (49) > 荒草地活动沟

表1 渗透速率与时间的回归方程

Table 1 Regression equations between rate and duration of infiltration

不同土地利用方式	荒草地活动沟	荒草地稳定沟	裸地活动沟	耕地
回归方程	$Y = 8.0981t^{-0.4636}$	$Y = 11.881t^{-0.5665}$	$Y = 6.459t^{-0.4901}$	$Y = 5.8207t^{-0.4667}$
R^2	0.9935	0.998	0.9873	0.9617

(45.33) > 耕地 (36.33) > 裸地活动沟 (33.33) (图2), 而这和实地观测发生侵蚀的状况是吻合的 (耕地除外)。

2.2 土壤渗透性的影响因子

2.2.1 土壤因素 野外观测与室内测试分析表明,荒草地土壤有机质含量较高 (表2), 土壤颗粒的水稳性程度高, 不易破碎, 结皮不易形成, 因而水分入渗较快, 而耕地和裸地则易形成结皮, 入渗较慢。相应地, 水稳性团聚体也有相同的趋势, 说明土壤有机质对提高土壤结构的稳定性有明显的促进作用。在土壤表层 > 0.25 mm 的不同粒径的水稳性团聚体中, 大粒径团聚体 (3~5 mm, 5~10 mm,

> 10 mm) 含量, 以荒草地稳定沟为最高 (525 g/kg), 荒草地活动沟次之 (386 g/kg), 裸地活动沟和耕地都很低 (< 130 g/kg) (表2), 说明粗粒径水稳性团聚体的含量对土壤入渗性提高具有重要作用。这与吴彦等^[10]研究长江上游几种水土保持林根系对土壤水稳性团聚体数量影响的结果相同。死根提供有机质, 配合须根的穿插和缠结, 促进土粒团聚, 使土壤中直径 > 3 mm 的大粒径水稳性团聚体增加, 从而增强土壤抗分散、悬浮的能力。

2.2.2 植被因素 由图1、2可知, 没有植被覆盖的裸地和耕地的入渗性能各指标显著低于荒草地 (在本区历时短降雨时段内表现更为明显), 而相应

的是裸地和耕地土壤有机质含量和水稳性团聚体含量（尤其是>3 mm 水稳性团聚体含量）显著低于荒草地（表 2），体现出植被对于提高土壤入渗性能的显著作用。同时，对于同为荒草覆盖的活动沟和稳定沟而言，表 3 生物学指标调查表明：平均株高、地上部干重、根量和植株根系密度，稳定沟分别比活动沟高 31%、93%、465% 和 100%，尤其是表层土壤（0~20 cm），1 m² 内的植物根量表现更为明显（稳定沟：活动沟 = 5.65:1），说明根量对于提高土壤入渗性能也是显著的。因此在本区短历时暴雨的

表 2 土壤渗透性内在影响因子
Table 2 Inherent factors of soil infiltration

土地利用类型	土层深度 (cm)	水稳性团聚体 (g/kg)							有机质含量 (g/kg)
		>10 mm	10~5 mm	5~3 mm	3~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	
荒草地活动沟	0~20	118.6	167.1	100.8	52.8	91.9	84.5	18.9	365.3
	20~40	58.2	102.8	90.5	60.7	119.9	122.9	34.1	410.8
荒草地稳定沟	0~20	152.2	25.05	122.7	61.4	105.9	59.4	18.4	229.5
	20~40	138.5	241.0	144.8	60.8	86.8	60.4	19.2	248.5
裸地活动沟	0~20	14.4	25.7	94.3	64.8	140.0	138.2	39.6	483.1
	20~40	25.7	21.5	66.9	83.3	177.6	148.3	20.7	456.0
耕地 (CK)	0~20	24.0	35.5	35.9	20.9	47.8	112.1	24.1	699.7
	20~40	38.6	65.0	44.9	26.0	67.9	207.7	21.4	528.5

表 3 土壤渗透性的植物指标
Table 3 Plant indicators of soil infiltration

	平均植株高度 (cm)	地上部干重 (g/m ²)	根量 (g/m ²)	根系密度 (根/100 cm ²)
荒草地活动沟	52.0	195.4	150.29	14
荒草地稳定沟	68.3	376.8	849.28	28

时段内，荒草地较强的入渗性能使更多的降雨得以下渗，减少了地表径流；裸地缺少残落物庇护，在雨滴打击下，土粒易分散，很容易形成结皮，入渗性能差。这与杜峰等的研究结果是一致的^[11]。耕地则由于人为的扰动形成了一定量的大孔隙，所以入渗性能较裸地强。

在野外的试验调查中同时发现，虽然研究区已经实行封山育林 7 年，植被恢复较好，但由于当地燃料极缺，新造林地的枯枝落叶常被搂扒干净，或牛羊觅食践踏，致使残落物无法保存，土壤也变得密实，结构难以得到改良，不利于雨水入渗，稳定入渗率都低于黄土高原的土壤稳定入渗速率（0.5 mm/min^[11]）。

3 结论

研究区土壤在入渗初期渗透率和累计入渗量均以荒草地稳定沟为最大，以裸地活动沟为最小。裸地活动沟 131.5 min 内的入渗总量为 75.67 mm，耕地、荒草地稳定沟、荒草地活动沟分别较之高 16.30%、24.66%、41.84%。但 4 种土地利用条件

下的降雨入渗过程相似，并且可以用考斯恰可夫（КОСТЯКОВА Н）公式 $f(t) = at^b$ 得到很好的表达。枯枝落叶的腐化层能有效增加土壤有机质，明显改善土壤结构，提高土壤的入渗性。提高土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体含量，尤其是其中>3 mm 的大粒径团聚体含量有利于提高土壤入渗性能。就植物的生物学指标而言，根量是能反映土壤入渗性能强弱的重要指标之一。缺少根系的裸地土壤渗透性能显著低于荒草地，而同为荒草地的稳定沟和活动沟也因为植被状况的差异形成不同的渗透性。从平均株高、地上部干重、根量和根密度等指标来看，根量对于提高荒草地稳定沟的入渗性能是最为显著的。土壤渗透性是制约坡面径流、冲沟侵蚀的重要因子，具有良好入渗性的土壤，地表径流小，冲沟侵蚀也能受到有效的遏制。

需要指出的是双环法是一种定水头条件下的积水型入渗（有压入渗），与天然降雨条件下的入渗相比，有较大差异。首先，前者土壤表面不受到雨滴的打击破坏作用，后者由于雨滴的打击破坏，土粒分散，堵塞孔隙，入渗减少。此外，前者试验多为

水平面,而实际的情况却很复杂。因此,双环法测得的入渗速率比实际情况要大。

参考文献:

- [1] 陈一兵, Troubowst K. 紫色土渗透性的对比研究. 水土保持通报, 1997, 17 (2): 11-13
- [2] 唐泽军, 雷廷武, 张晴雯, 赵军. 雨滴溅蚀和结皮效应对土壤侵蚀影响的试验研究. 土壤学报, 2004, 41 (4): 632-635
- [3] 李勇. 黄土高原植物根系与土壤抗冲性. 北京: 科学出版社, 1995: 34-54
- [4] 陈奇伯, 王克勤, 李艳梅, 王建英, 王平里, 达琼. 金沙江干热河谷不同类型植被改良土壤效应研究. 水土保持学报, 2003, 17 (2): 67-70
- [5] 张建辉, 李勇, 杨忠. 云南元谋干热河谷造林区植被生长与土壤渗透性的关系. 山地学报, 2001, 19 (1): 25-28
- [6] 郑子成, 吴发启, 何淑勤. 耕作措施对产流作用的研究. 土壤, 2004, 36 (3): 327-330
- [7] Williams A, Xing BS, Veneman P. Effect of cultivation on soil organic matter and aggregate stability. Pedosphere, 2005, 15 (2): 255-262
- [8] 陈建刚, 李启军, 侯旭峰, 张书函, 冒建华. 奶水河流域不同植被覆盖条件下土壤入渗及模型的比较分析. 中国水土保持科学, 2004, 2 (3): 22-26
- [9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 132-157
- [10] 吴彦, 刘世全, 付秀琴, 王金锡. 植物根系提高水稳性团粒含量的研究. 水土保持学报, 1997, 3 (1): 45-49
- [11] 刘定辉, 李勇. 植物根系提高土壤抗侵蚀性机理研究. 水土保持学报, 2003, 17 (3): 34-37

Soil Infiltration Under Different Patterns of Land Use in Gully Erosion Area of the Jinshajiang River Basin

ZHOU Wei^{1,2}, ZHANG Jian-hui¹

(1 Institute of Mountain Hazards & Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Chengdu 610041, China; 2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: With the original vegetations kept undisturbed, the field double-ring method was used to examine soil infiltration under 4 different patterns of land uses (P-1, waste grassland with active gullies, P-2, waste grassland with stable gullies, P-3, bare land with active gullies, and P-4, farmland) in gully erosion area of Anning River Valley of the Jinshajiang River Basin of Xichang, Southwest China. Results showed P-2 was the highest in average infiltration rate in the initial 21.5 mins and in cumulative infiltration and P-3 was the lowest with the others standing in between. The process of infiltration under 4 different patterns of land use can be described with the equation of $f(t)=at^b$. Vegetation could increase the soil organic matters effectively, and the latter could improve soil structure notably. The higher content of water-stable aggregates > 0.25mm, especially of aggregates > 3mm increased soil infiltration rate. Root weight is an important biological indicator of soil infiltration. High soil infiltration reduces surface runoff and hence in turn suppresses formation of gullies.

Key Words: Jinshajiang River, Land uses, Infiltration, Vegetation, Gully erosion