

# 宁南黄土丘陵区典型水土保持工程措施对土壤入渗性能的影响

蔡进军, 李生宝, 蒋齐, 张源润

(宁夏农林科学院 荒漠化治理研究所, 宁夏 银川 750002)

**摘要:** 土壤入渗性能是降水向土壤水转化的关键环节。利用双环法对宁南黄土丘陵区实施的 88542 水平沟整地、鱼鳞坑整地和机修水平梯田 3 种典型水土保持工程措施后土壤的入渗性能进行了试验研究。结果表明, 实施水土保持工程措施后, 土壤的入渗性能得到了明显改善, 对土壤入渗性能改善程度表现为 88542 水平沟 > 鱼鳞坑 > 水平梯田, 三者的入渗模型以 Philip 入渗公式精度最高, Horton 入渗经验公式精度相对较低。土壤入渗性质的变化主要由于在实施不同水土保持措施后土壤容重和孔隙性发生了显著变化引起的。三种工程措施对土壤容重和孔隙度的改善程度和土壤入渗性能各项指标的变化高度一致。

**关键词:** 宁南黄土丘陵区; 水土保持工程措施; 入渗性能

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0022-05

中图分类号: S152.7+2

## Effects of Typical Soil and Water Conservation Project on Infiltration Capacity in Loess Hilly Regions of Southern Ningxia Hui Autonomous Region

CAI Jin-jun, LI Sheng-bao, JIANG Qi, ZHANG Yuan-run

(Desertification Control Institute, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

**Abstract:** Infiltration is a key step to transform rainfall into soil water. Infiltration capacity in three typical soil and water conservation projects (88542 level furrow site preparing, fish-scale pit site preparing, and level terrace) in the loess hilly regions of Southern Ningxia Hui Autonomous Region is studied by means of double ring method. Results showed that infiltration capacity was significantly improved after implementing the soil and water conservation projects. By the capacity, the order of the three engineering measures was 88542 level furrow > fish-scale pit > level terrace. The infiltration models for the engineering measures were all accord with power-exponent equation. The changes in soil bulk density and soil porosity was the main cause of the change in infiltration capacity. The improvement degree of soil bulk density and porosity by the three measures has a high concordance with the change of infiltration capacity.

**Keywords:** loess hilly region of Southern Ningxia; soil and water conservation project; infiltration

干旱与水土流失是制约半干旱黄土丘陵区生态恢复和农业经济发展的瓶颈, 无论是以径流林业为主的植被恢复, 还是以兴修梯田为主的基本农田建设, 均是通过“增加土壤入渗、就地拦蓄降雨径流”<sup>[1-2]</sup>, 从而实现水资源的利用效率的提高。作为降水向土壤水转化的关键环节<sup>[3]</sup>, 土壤的入渗能力决定了降雨再分配过程中地表径流和土壤的贮水性能, 土壤渗透性能的好坏, 直接关系到土壤贮水量的多少<sup>[4]</sup>。研究土壤的入渗规律, 可以为提高降水利用效率, 发挥土壤生产潜力和改善生态环境提供科学的理论依据<sup>[5]</sup>, 也有助于评价各种水土保持措施的蓄水效果, 实现其最优化配置<sup>[6]</sup>。黄土丘陵区实施的鱼鳞坑、水平沟整地措施和机修梯田, 通过对原状土进行不同程度的扰动, 使得土壤的容重、孔隙度等发生变化, 进而影响到

土壤水分入渗性能<sup>[7]</sup>。本文以宁夏南部半干旱黄土丘陵区大面积实施的水土保持工程措施为对象, 对人工扰动后的土壤入渗性能和规律进行分析研究, 阐明工程措施对土壤入渗性能的影响程度, 以为合理评价水土保持工程效益, 进而对宁南水土流失区的退化生态恢复提供科学理论依据。

### 1 研究区概况

研究区位于彭阳县东北 20 km 处的白阳镇中庄村, 是“十一五”国家科技支撑计划重大项目课题示范区, 该区地貌类型属于黄土高原腹部梁峁丘陵地, 平均海拔在 1 600 ~ 1 700 m 之间。该村年平均气温 7.6℃, 10℃ 的积温为 2 200 ~ 2 750℃, 境内年蒸发量较大, 干燥度为 3.58<sup>[8]</sup>, 无霜期 140 ~ 160 d。

收稿日期: 2009-06-09

修回日期: 2009-07-08

资助项目: “十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAC01A07); 宁夏自然科学基金项目(NZ0855)

作者简介: 蔡进军(1976—), 男(汉族), 宁夏回族自治区平罗县人, 助理研究员。主要从事黄土高原水土保持及退化生态系统恢复技术研究。

E-mail: nxyccl@163.com.

项目区多年平均降水量 400 ~ 450 mm, 降水量集中且分配不均, 主要集中在 7—9 月, 而且降水的年际变差系数较大<sup>[9]</sup>。示范区土壤以普通黑垆土为典型土壤, 土壤母质为黄土及黄土状物, pH 值在 8 ~ 8.5 之间, 呈弱碱性反应。土层深厚, 土质疏松。植被类型以草原植被为基础, 生长有长芒草 (*Stipa bungeana* Trin.)、芨芨 (*Artemisia giraldii* Pamp.)、二裂萎陵菜 (*Potentilla bifurca*) 等, 人工植被以山桃 (*Prunus davidiana*)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、山杏 (*Armeniaca* Lam) 等为主。

## 2 研究方法

### 2.1 样点选择

试验点选择中庄村十六卯流域, 该流域为示范区生态建设核心区, 按照“上退下推”和“15 坡耕地全部退耕”的原则, 结合原有土地利用现状, 在梁卯阴

坡上部选择退耕还林, 下部修建梯田, 阳坡实行荒山造林的配置模式, 该模式也是宁南山区退耕还林工程采取的主要模式。退耕还林整地方式为“88542”水平沟造林整地。88542 水平沟造林整地技术即在坡地上沿等高线方向挖 2 m 宽, 0.5 m 深的水平沟, 沟底靠外侧挖一深 0.8 m, 宽 0.8 m 的沟槽, 然后虚土回填至与沟底持平, 外埂内侧高 0.4 m, 外侧高 0.5 m, 按照工程的设计参数, 简称为 88542 水平沟造林整地。上一级隔坡长 8 ~ 12 m, 试验所选隔坡长 10 m。荒山上部采用鱼鳞坑造林整地, 鱼鳞坑呈品字形布局, 整地规格 0.6 m × 0.6 m × 0.6 m, 林带株行距为 1 m × 2 m。梯田为 2003 年机修水平梯田, 田面宽 25 m 左右。分别在“88542”水平沟、鱼鳞坑和机修水平梯田内随机选择取样点, 并分别选择上一级隔坡中部、鱼鳞坑外自然坡面中部, 相邻坡耕地为对照, 研究样点情况见表 1。

表 1 试验样点的基本概况

编号	水土保持工程	海拔/m	坡向	坡度	类型	植被类型
	88542 水平沟	1 616	北	0°	退耕还林	山桃 × 山杏 + 柠条 + 紫花苜蓿
	隔坡 (CK)	1 617	北	24°		
	鱼鳞坑	1 597	南	45°	荒山造林	山杏 + 柠条 + 自然植被
	自然坡面 (CK)	1 598	南	45°		
	水平梯田	1 605	北	0°	基本农田	连年种植冬麦
	坡耕地 (CK)	1 613	北	18°		

### 2.2 试验方法

土壤入渗采用双环法野外测定, 其中入渗仪外环直径为 30 cm, 内环直径为 20 cm, 内、外环高度均为 25 cm。试验时, 在不破坏原状土的基础上, 将内、外环均匀打入土中 10 cm。坡面试验时, 选择坡面较为平缓处, 并将下垫面修成水平, 然后将双环打入土体 10 cm。试验采用积水入渗的方法, 通过控制马氏瓶开关使内外环积水深度均控制在 2 cm 刻度。以秒表记录试验时间, 从开始供水时计时, 试验初期 2 min 内每 30 s 读数 1 次, 2 min 后每 60 s 读数 1 次, 5 min 后每 5 min 读数 1 次, 试验 30 min 后, 有连续 4 个相同时间段 (5 min) 内入渗水量相同时, 判定土壤达到稳渗, 停止试验。分别计算前 1 min 的入渗速率、平均入渗速率、稳渗速率、30 min 入渗量和累计入渗量。分别参照 Kostiaikov 入渗经验公式、Philip 入渗公式和 Horton 入渗经验公式建立入渗模型, 比较其对实际数据的模拟效果。

按照下式计算土壤的渗透速度:

$$V = \frac{Q_n \times 10}{t_n \times S}$$

式中:  $V$ ——土壤在某时刻的渗透速度 (mm/min);  $Q_n$ ——第  $n$  次测定时间内注水量 (ml);  $t_n$ ——第  $n$  次测定时间间隔的时间 (min);  $S$ ——渗透面面积 ( $\text{cm}^2$ ) =  $3.14 \times 10^2$ 。

同时取样测定试验样点的 0—60 cm 的土壤理化性质。其中土壤含水量以德国产 TDR 观测, 土壤容重和孔隙度采用环刀—浸水法测定, 有机质含量取样委托宁夏农林科学院农产品质量检测中心测定。

## 3 结果及分析

### 3.1 不同工程措施下土壤入渗指标比较

由表 2 可以看出, 不同水土保持工程措施后, 土壤的各项入渗性能指标都发生了变化, 从土壤初始入渗速率看, 3 种水土保持工程的初始入渗速率均有了明显提高, 分别比无工程措施土地提高了 5.61%, 12.20%, 20.63%; 比较 30 min 入渗量, 各种工程措施分别比对照提高了 21.96%, 3.745, 10.52%。从土壤达到稳渗所需时间看, 随着水土保持工程措施的实施, 在一定程度上, 延长了土壤达到稳渗的时间, 比较 3 种水土保持工程达到稳渗的时间, 随着坡度的增大, 达到稳渗的

时间越短,随着水保工程的实施,延缓了土壤稳渗的时间,由于土壤入渗速度总是从初始入渗速率开始逐渐减小直至稳定在一个稳定水平,所以,土壤稳定入渗时间的延长实际上就是增大了土壤的累计入渗量。从各种措施的稳渗速率看,水保工程措施的实施,有效地改变了土壤入渗性能,提高了土壤的稳渗速率,尤其以 88542 水平沟整地效果最为明显,比未整地时的稳渗速率提高了 106.7%。鱼鳞坑工程整地后,土壤的稳渗速率提高了 16.22%。坡地改造梯田后,土壤的稳渗速率变化不大。但梯田在同一时间内的入渗量比坡耕地有所增大。究其原因,工程措施对土壤的干扰程度不一样,对土壤的入渗影响也不一样。88542 水平沟工程整地有一 80 cm × 80 cm 的熟土回填带沟。造林时就选择在此带沟内栽植,入渗选择的试验区域也是在此沟内,所以该工程对土壤的扰动性大,极大地疏松了土壤,改变了土体状况,有效地提高了入渗性能,鱼鳞坑的整地深度在 60 cm 左右,也是在回填熟土区域进行试验,尽管对土壤稳渗速率的改善没有 88542 水平沟明显,但该工程措施后的土壤稳渗速率比 88542 水平沟整地大,且对照自然坡面的土壤稳渗速率比起紫花苜蓿隔坡地和坡耕地来说,也处在较高水平,因而实施工程措施后,对土壤的入渗速率增加相对较小。

尽管水平梯田是工程量最大,对土壤干扰也最大的水保措施,但同样作为农地,梯田与坡耕地对土壤

耕作层的扰动方式长期处于同一水平,只是通过 30 min 入渗量能够反映出水平梯田的土壤相对疏松,土壤的稳渗速率则没有变化。

### 3.2 不同工程措施下土壤入渗过程比较

各类工程措施后,前期土壤入渗速率很快,入渗速率的变化也很剧烈,试验进行约 20 min 后,入渗过程变化逐渐趋于平缓,波动不明显,总体上入渗速率逐渐减小,直至达到稳定速度。虽然各类工程措施的土壤入渗趋势一致,但 88542 水平沟的土壤入渗速率从试验开始直至达到稳定入渗,各时间点的土壤入渗速率均大于对照隔坡,鱼鳞坑整地也是如此,只是差别较小,而水平梯田的入渗过程和坡耕地几乎一致,在不同时间点的入渗速度则互有大小。分别按照 Kostiaikov 入渗经验公式、Philip 入渗公式和 Horton 入渗经验公式对不同水保工程措施后土壤的入渗过程进行了方程拟合(见表 3),各方程的回归系数  $R$  在 0.861 4 ~ 0.977 5 之间,表现出较好的拟合效果,拟合的曲线也与试验的实测入渗曲线较为吻合(图 1)。比较 3 种拟合方程,Philip 入渗公式拟合的精度高于 Kostiaikov 入渗经验公式和 Horton 入渗经验公式。Horton 入渗经验公式的拟合精度相对最低。其中 Philip 入渗公式和 Kostiaikov 入渗经验公式接近,尤其是在试验中期,2 种公式的拟合值与实测值非常相近,而 Horton 入渗经验公式与此二者之间有一定的差距,在试验初期尤为明显,且与实测值的差距也较大。

表 2 不同水保措施土壤入渗性能指标比较

编号	工程措施	初始入渗速率/ (mm · min <sup>-1</sup> )	30 min 入渗量/ mm	稳渗时间/ min	稳渗速率/ (mm · min <sup>-1</sup> )	累计入 渗量/mm
	88542 水平沟	5.46	101.26	95	2.46	273.91
	隔坡(CK)	5.17	83.03	85	1.19	161.88
	鱼鳞坑	5.98	96.44	70	2.58	239.87
	自然坡面(CK)	5.33	84.79	45	2.22	197.44
	水平梯田	4.97	82.87	95	1.19	170.83
	坡耕地(CK)	4.12	74.98	90	1.19	169.33

表 3 不同水保工程措施土壤入渗模型

编号	工程措施	Kostiaikov 经验公式		Philip 公式		Horton 公式	
		拟合方程	$R$	拟合方程	$R$	拟合方程	$R$
	88542 水平沟	$f = 4.968 9t^{-0.169 8}$	0.955 7	$f = 3.560 1t^{-1/2} + 2.059 3$	0.970 3	$f = 2.210 2 + 2.000 3e^{-0.103 6t}$	0.846 7
	隔坡(CK)	$f = 5.366 6t^{-0.350 5}$	0.973 4	$f = 5.107 5t^{-1/2} + 0.664 8$	0.977 5	$f = 1.100 1 + 1.266 5e^{-0.161 9t}$	0.953 5
	鱼鳞坑	$f = 4.750 6t^{-0.163 4}$	0.862 6	$f = 3.683 3t^{-1/2} + 1.984 4$	0.930 0	$f = 2.313 0 + 1.547 3e^{-0.017 6t}$	0.883 5
	自然坡面(CK)	$f = 4.152 0t^{-0.161 0}$	0.861 4	$f = 3.688 8t^{-1/2} + 1.641 4$	0.949 2	$f = 2.112 7 + 1.298 1e^{-0.031 6t}$	0.913 5
	水平梯田	$f = 0.577 1t^{-0.333 9}$	0.963 7	$f = 4.805 6t^{-1/2} + 0.719 5$	0.951 6	$f = 1.171 0 + 1.315 8e^{-0.190 2t}$	0.895 6
	坡耕地(CK)	$f = 4.610 7t^{-0.306 4}$	0.963 9	$f = 3.769 7t^{-1/2} + 0.922 8$	0.942 9	$f = 1.072 6 + 1.214 7e^{-0.141 2t}$	0.922 7

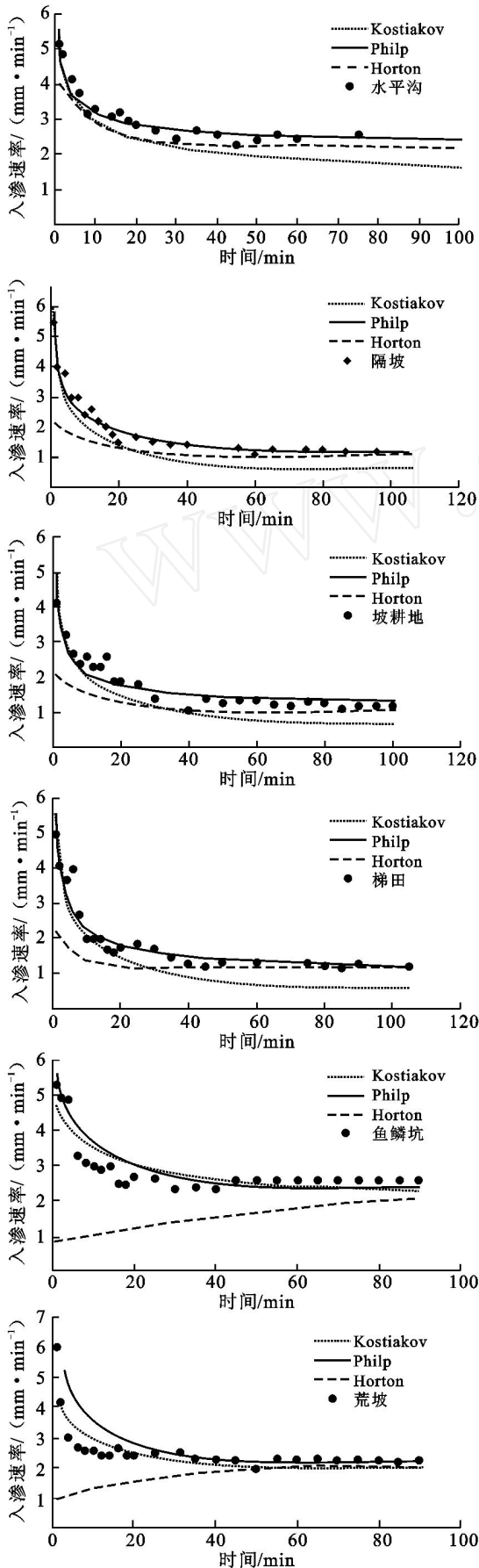


图 1 不同水土保持工程措施后土壤入渗特征曲线

### 3.3 不同工程措施对土壤入渗因素的影响

土壤因子是影响水分入渗的重要因素,无论是其它生物因素还是地形因素,均是通过作用于土壤进而影响土壤入渗<sup>[10]</sup>。各类水土保持工程措施就是通过人为扰动,疏松土壤,影响土壤的理化性质,从而达到强化降水入渗,减少径流量和减少坡面产沙量的功效。从试验前 0—60 cm 土层的土壤体积含水量看,各项工程措施后,土壤水分均有所提高,尤其以 88542 水平沟最为明显,土壤初始含水量对土壤稳渗速率影响不大,但与土壤的初始入渗速率成反比,同时,可以缩短土壤达到稳渗的时间和土壤累计入渗量<sup>[11-12]</sup>。从土壤容重和孔隙度看,实施工程措施,对容重和孔隙度有明显影响,使得土壤疏松程度增加,降低了土壤容重,增加了土壤孔隙度,极大地改善了土壤的入渗性能。比较 3 种工程措施对土壤容重和孔隙度的改善程度,88542 水平沟 > 鱼鳞坑 > 水平梯田,和土壤入渗性能各项指标的变化表现出了高度的一致性,也反映出了土壤容重和孔隙性是决定土壤入渗性质的主要因子。

土壤有机质本身由于疏松多孔,利于土壤入渗,而且土壤有机质在矿化过程中能释放大量营养物质,对土壤水、气、热等各种肥力因素起着重要的调节作用,对土壤结构形成也有很大影响<sup>[11,13]</sup>,进而影响土壤入渗,从试验测定的土壤有机质含量可见,各种措施极大地扰动了土壤,造成了有机质在土体中的重新分配,总体上看,不利于土壤有机质的积累。由于有机质在土壤中的积累矿化是一个长期过程,评价其对各种自然恢复状态下的土壤入渗性能差异有指导意义,对于各种水土保持工程或强度的人为干扰后的土壤入渗性能影响不大(表 4)。

## 4 结论

(1) 水土保持工程措施是提高土壤渗透性能的有效途径,无论是初始入渗速率、稳渗速率,还是单位时间内的累计入渗量,均以 88542 水平沟整地对土壤入渗性能的改善最为明显,其次是鱼鳞坑整地,机修梯田最小。3 种工程措施后土壤的稳渗速率在 1.19 ~ 2.46 mm/min 之间。

(2) 分别以 Kostiakov 经验公式、Philip 入渗公式和 Horton 入渗经验公式进行入渗方程拟合,均表现出较高的相关性,相关系数  $R$  在 0.861 4 ~ 0.977 5 之间,拟合的曲线也与试验的实测入渗曲线较为吻合。3 种拟合方程中以 Philip 入渗公式拟合的精度最高,其次是 Kostiakov 入渗经验公式, Horton 入渗经验公式拟合精度相对最低。

表 4 不同水保工程措施后土壤理化性质的变化

编号	工程措施	土壤初始含水量/ %	容重/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	孔隙度/ %			有机质/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )
				毛管孔隙度	非毛管孔隙度	总孔隙度	
88542	水平沟	12.27	1.18	47.10	10.91	58.01	6.52
	隔坡(CK)	7.87	1.27	43.53	8.17	51.70	8.98
	鱼鳞坑	10.83	1.17	25.65	29.46	55.11	10.58
	自然坡面(CK)	10.71	1.23	24.89	25.82	52.71	13.07
	水平梯田	15.70	1.24	45.42	11.16	56.58	6.35
	坡耕地(CK)	14.27	1.24	39.08	10.75	49.82	10.11

(3) 从土壤理化性质的变化比较,3种水土保持工程措施对土壤水分、容重、孔隙性和有机质分布均有较大影响,但决定扰动后土壤入渗性能的指标主要是土壤容重和土壤孔隙度,此2项指标的改变与土壤入渗性能指标的改变表现出了高度的一致性,说明土体的结构改变比土壤质地对入渗的影响更大。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 朱显谟.再论黄土高原国土整治“28字方略”[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1995,1(1):4-11.
- [2] 李贵玉,徐学选,王俊华,等.黄土丘陵区不同植被下土体入渗性能研究[J].水土保持研究,2007,14(3):27-30.
- [3] 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.
- [4] 蔡进军,蒋齐,张源润,等.宁南山区典型农耕地土壤特性分析[J].西北农业学报,2007,16(2):75-80.
- [5] 赵西宁,吴发启,王万忠,等.黄土高原沟壑区坡耕地土壤入渗规律研究[J].干旱区资源与环境,2004,18(4):109-112.
- [6] 刘致远.不同外界条件对土壤入渗性能影响研究[J].山西林业,2008(5):23-25.
- [7] 马红彬.宁夏黄土高原丘陵区长芒草典型草原土壤和植被对不同土地干扰的响应[D].银川:宁夏大学,2007.
- [8] 刘昌明.西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究[M].北京:科学出版社,2004.
- [9] 蔡进军,张源润,火勇,等.宁南山区梯田土壤水分及养分特征时空变异性研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(5):83-87.
- [10] 卢晓杰,李瑞,张克斌.农牧交错带地表覆盖物对土壤入渗的影响[J].水土保持通报,2008,28(1):1-5.
- [11] 吕刚,吴祥云.土壤入渗特性影响因素研究综述[J].中国农学通报,2008,24(7):494-498.
- [12] 贾志军,王贵平,李俊义,等.土壤含水率对坡耕地产流影响的研究[J].山西水土保持科技,1990,22(4):25-27.
- [13] 朱祖祥.土壤学[M].北京:农业出版社,1983.

## 欢迎投稿《International Journal of Sediment Research》

《International Journal of Sediment Research》(译名《国际泥沙研究》)是国际泥沙研究培训中心主办的纯英文版科技期刊,为季刊。自2007起成为SCI源刊,被SCI-E收录。《International Journal of Sediment Research》刊登内容有:泥沙运动力学、河床演变、地理学、地貌学、土壤侵蚀、流域产沙、水土保持、泥沙对环境及生态的影响、泥沙所引起的社会和经济问题评估等内容。竭诚欢迎相关人员投稿。

投稿地址:北京车公庄西路20号,国际泥沙研究培训中心,《国际泥沙研究》编辑部,

邮政编码:100048;

传真:86-10-68411174

网 址:<http://www.waser.cn/journal/journal-main.asp>

电子邮箱:sedimentpaper2004@yahoo.com.cn, chyh@iwhr.com, yhchen1234@gmail.com

联系人:陈月红