

秦巴山区小流域水土保持综合治理 对土壤入渗的影响

袁峰, 张平仓, 任洪玉, 范一林

(长江科学院 水土保持研究所, 湖北 武汉 430010)

摘要: 采用双环法及对比分析法对秦巴山区小流域的土壤入渗特征进行了分析研究。结果表明, 两条对比小流域中各不同土地利用类型的土壤稳渗速率均呈现出草地>林地>沟台地>坡耕地>梯田>荒地的变化规律, 且已治理流域土壤入渗能力较未治理流域相同土地利用状况的土壤入渗能力有所增大。这主要与流域实施水土保持综合治理后土壤容重、有机质、> 0.25 mm 水稳性团聚体含量、孔隙度等影响土壤入渗的因素发生了明显改变有关, 梯田等工程措施对土壤稳渗速率的改善作用不明显。由此说明, 大规模水土保持综合治理可有效改善土壤的某些物理、化学性质, 并增大土壤的入渗能力, 是导致流域洪水过程及径流量发生变化的原因之一。

关键词: 秦巴山区; 小流域; 水土保持; 入渗

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)01-0011-04

中图分类号: S152.7⁺2, S157.2

Effect of Comprehensive Watershed Control on Infiltration Rate in the Qinba Mountain Area

DING Wen-feng, ZHANG Ping-cang, REN Hong-yu, FAN Yi-lin

(Department of Soil and Water Conservation, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan, Hubei 430010, China)

Abstract: To provide a scientific basis regarding the effect of soil and water comprehensive control on runoff generation and its amount, the characteristics of infiltration in controlled and non-controlled watersheds of the Qinba hilly region were studied using the dual rings method and the parallel analysis. Results indicate that the infiltration rates of different landuses in controlled watersheds are obviously greater than that in non-controlled watershed. Steady-state infiltration rates in different landuses descend in the sequence of grassland, forest land, canal banks, slopping cultivated field, terrace and wasteland. Soil bulk density, soil organic matter content, the > 0.25 mm water stable aggregates and soil porosity are the main causes for the increased infiltration rate. The increased infiltration rate by large-scale comprehensive control is one of the reasons for runoff generation process and variation of runoff amount.

Keywords: Qinba hilly region; small watershed; soil and water conservation; infiltration

秦巴山地区位于我国中部, 总面积 3.23×10^5 km², 约占全国总面积的 3.37%。受特定区域自然条件的控制和人类不合理经济活动的影响, 秦巴山区山洪、滑坡、泥沙流等灾害的发生十分频繁, 是我国山洪灾害的多发区和重灾区。近年来, 随着国家对山洪灾害防治工作的日益重视, 如何才能有效防治山洪, 改善生态环境已经成为该地区所面临的一个重要问题。而水土保持是一项与山区小流域山洪灾害密切相关的工程, 长期以来, 人们往往注重关于水土保持对流域产沙和输沙影响问题的研究^[1-3], 而对水土保持

在山洪灾害防治中的作用认识不足。随着国家对小流域水土保持投入力度的不断加大, 迫切需要对水土保持综合治理与山洪灾害防治之间的关系作一阐述和研究, 而入渗是土壤一个十分重要的物理性质, 也是流域多种水文生态功能的基础, 对大气降水、地表水、土壤水和地下水之间的相互转化起着重要的调节作用, 最终对流域径流过程产生影响^[4-5]。多年来, 国内外的许多学者就入渗模型, 入渗测试方法以及坡面土壤入渗速率的空间变化规律等问题进行了较为深入的研究^[6-9], 但对流域尺度土壤入渗问题研究

相对较少,而对流域土壤入渗进行研究将是回答水土保持与山洪灾害防治之间关系的前提。鉴于此,本文通过在秦巴山区陕西省商南县选择 2 条对比小流域,实测流域内不同土地利用类型土壤的入渗性能随水土保持措施实施而变化的情况,以期对流域水土保持对土壤入渗的影响问题有进一步的认识,并为小流域水土保持措施的实施和布设提供理论依据。

1 研究区概况

陕西省商南县地处秦巴山区,特定的气候条件和地质地貌条件决定了商南县的山洪灾害十分频繁。据统计,20 世纪 70 年代共出现过大雨 12 次,暴雨 17 次,并且大部分都引起山洪灾害的暴发,特别是 1972,1975 年和 1977 年均引发了较大规模的山洪灾害。进入 90 年代以来,随着对山地资源开发的规模和范围不断增大,加上气候、地质、地貌条件等的影响,于 1994,1998 年暴发了大规模的山洪灾害,2000 年以后,2003,2004 年均有局部流域发生洪水灾害,其中 2004 年 7 月和 8 月均有较大规模的山洪暴发。

鸚鵡沟流域位于商南县城东南 2 km 处的城关镇五里铺村,是商南县二期“长治”工程东北山流域的一条支沟,地处流域下游,土地总面积 2.04 km²。流域大部分面积为低山丘陵地貌,河谷开阔,最高海拔 824 m,最低海拔 464 m。该流域处于北亚热带和暖温带过渡区,具有气候温和、日照充足、雨量充沛、四季分明的特点。降水年内分配不均,主要集中在 7—9 月,占年降水量 50% 左右,且多以暴雨形式出现,年径流深 261.3 mm,径流总量为 5.34 × 10⁵ m³。流域内以黄棕壤、风化沙壤土为主,有机质、微量元素较缺乏。人口密度为 359 人/km²。治理前流域的土地利用状况为:耕地 71.12 hm²,林地 61.63 hm²,荒山荒坡 47.7 hm²,水域 2.06 hm²,其它 3.15 hm²,分别占土地总面积的 38.3%,33.2%,25.7%,1.1% 和 1.7%。在 71.12 hm² 耕地中,有 25° 以上的坡耕地 30.80 hm²,10°~25° 的坡耕地 19.13 hm²,10° 以下的 21.19 hm²,且全部分布在沟道中。土地利用结构不合理,土地利用率低。流域内共有流失面积 130.53 hm²,占总面积的 63.8%。流失面积主要分布在坡耕地、荒山、荒坡和河滩地上。自 2000 年鸚鵡沟小流域被列入商南县二期“长治”重点治理小流域以来,采取了坡面治理措施和沟道治理措施相结合的治理方针。其中坡面治理以林草措施为主,配以适量的工程措施,采取的主要措施为在退耕的坡耕地和荒山、荒坡山共规划实施了水保林 49.87 hm²,经济林 46.27

hm²,种草 10.80 hm²。工程措施为采用钢砼构件筑坎造田 8.93 hm²。沟道治理措施主要为在沟道内布置了 3.8 km 的路堤结合工程,2.3 km 的防洪排涝工程,改造沟台地 23.27 hm²。

西沟小流域为商南县城关镇豹子河流域的一条小支沟,面积 1.2 km²,目前还没有进行任何的水土保持治理,目前流域内荒山荒坡,以及坡耕地的面积占全流域总面积的 60% 以上。本文以西沟小流域作为鸚鵡沟流域的对比流域。

2 研究方法

根据所选择的 2 条对比流域的土地利用状况以及面积大小的不同,在鸚鵡沟流域选择了 18 个测点,西沟流域选择了 12 个测点,并同时采集了各测试点的表层 0—10 cm 的土样,作为室内土壤理化性质的测定、分析。各测点的基本情况见表 1—2。

土壤入渗试验采用双环法^[10-11,13],土壤表层容重测定采用环刀法,重复 3 次,取平均值。比重测定采用比重瓶法^[12]。土壤表层有机质含量测定采用重铬酸钾氧化—外加热法^[12],重复 3 次。土壤表层水稳性团聚体含量测定采用湿筛法^[12],重复 3 次。以上土壤均取自表层 0—10 cm。测定时间均为 2005 年 4—5 月。

表 1 鸚鵡沟流域土壤入渗测试点基本情况

| 土地利用类型 | 种植作物 | 坡度/ (°) | 坡位 | 前期含水量/ % | 土层厚度/ cm |
|--------|-------|------------|------|-------------|-------------|
| 林地 | 泡桐、刺槐 | 18 | 坡中部 | 14.57 | 20 |
| 坡耕地 | 小麦 | 12 | 坡中上部 | 7.40 | 35 |
| 坡耕地 | 小麦 | 15 | 坡中部 | 7.20 | 30 |
| 荒地 | — | 12 | 坡下部 | 6.26 | 15 |
| 沟台地 | 小麦 | 2 | — | 8.82 | 110 |
| 荒地 | — | 5 | 坡下部 | 6.27 | 10 |
| 林地 | 麻栎 | 28 | 坡中上部 | 15.10 | 25 |
| 梯田 | 小麦 | 3 | — | 7.40 | 65 |
| 坡耕地 | 豌豆 | 6 | 坡上部 | 11.90 | 45 |
| 林地 | 刺槐、麻栎 | 22 | 坡中部 | 7.85 | 25 |
| 草地 | 龙须草 | 17 | 坡中部 | 10.82 | 15 |
| 荒地 | — | 17 | 坡中部 | 6.94 | 10 |
| 坡耕地 | 豌豆 | 3 | 坡上部 | 7.62 | 40 |
| 林地 | 油松 | 11 | 坡上部 | 6.85 | 30 |
| 梯田 | 小麦 | 4 | — | 11.33 | 60 |
| 沟台地 | 油菜 | 3 | — | 10.92 | 90 |
| 沟台地 | 黄姜 | 2 | — | 9.67 | 120 |
| 梯田 | 小麦 | 3 | — | 8.76 | 80 |

表 2 西沟流域土壤入渗测试点分布情况

| 土地利用类型 | 种植作物 | 坡度/ (°) | 坡位 | 前期含水量/% | 土层厚度/cm |
|--------|--------|------------|------|---------|---------|
| 坡耕地 | 花生 | 10 | 坡顶 | 6.86 | 35 |
| 林地 | 马尾松、侧柏 | 20 | 坡中部 | 10.12 | 30 |
| 坡耕地 | 小麦 | 14 | 坡中部 | 7.86 | 30 |
| 坡耕地 | 花生 | 15 | 坡下部 | 7.68 | 30 |
| 坡耕地 | 花生 | 15 | 坡顶部 | 6.76 | 40 |
| 林地 | 油松、栎 | 12 | 坡上部 | 11.51 | 20 |
| 沟台地 | 黄姜 | 3 | — | 11.23 | 110 |
| 坡耕地 | 花生 | 8 | 坡中上部 | 6.97 | 45 |
| 沟台地 | 土豆 | 2 | — | 13.10 | 110 |
| 坡耕地 | 花生 | 15 | 坡中部 | 6.74 | 25 |
| 沟台地 | 小麦 | 2 | — | 7.86 | 90 |
| 坡耕地 | 小麦 | 5 | 坡中部 | 8.41 | 30 |

3 结果分析

3.1 不同土地利用对土壤入渗的影响

目前在研究土壤水分入渗过程中,常采用的 3 个指标是初始入渗速率、平均入渗速率和稳定入渗速率。其中初始入渗速率和平均入渗速率均与土壤初始含水量相关,一般而言,初始含水量与土壤初始入渗速率成反比,在土壤初始含水量不同时,仅比较土壤初始入渗速率的大小意义不大。而稳渗速率主要与土壤自身物理、化学性质有关,当达到稳渗速率时,一般所测定的土壤含水量已饱和,消除了土壤含水量对入渗速率的影响。因此,本文的分析主要针对土壤稳渗速率进行。根据实测数据,点绘了西沟和鸚鵡沟流域内不同土地利用类型土壤稳渗速率的变化情况(见图 1)。

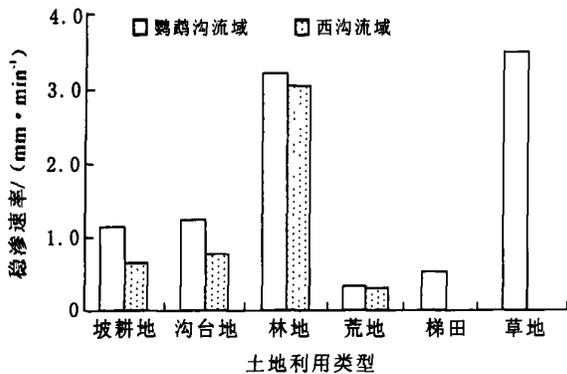


图 1 流域不同土地利用类型土壤入渗速率

从图 1 中可见,对于所研究的 2 条小流域来说,土地利用类型的不同对土壤的稳渗速率有较大影响。总体而言,这 2 条流域土壤入渗速率均呈现出草地>林地>沟台地>坡耕地>梯田>荒地的变化规律,这主要与不同土地利用对土壤有机质、团粒结构以及孔

隙度和容重的改变有关。林地在积累有大量枯落物的情况下,由于凋落物的腐烂分解、灌丛草本植物的茂密生长、软体动物的栖息繁衍,土壤疏松,结构良好,稳定入渗速率最大,分别达到 3.2 mm/min 和 3.02 mm/min,为对照荒坡地入渗速率的 10 倍和 8.9 倍。天然草地或者人工草地随着植株的发育,根系在土中交织缠绕,土壤容重减小,孔隙度增大,土壤稳渗速率也较其它土地利用土壤稳渗速率大。荒坡地由于失去人为的开垦种植,且地表缺乏植被的保护,逐渐板结,导致土壤有机质、团粒含量等减小,容重增大,并最终导致土壤稳渗速率的减小。另外,从数据分析中可见,梯田工程措施强化土壤的入渗能力作用不大,本研究中所测得的梯田土壤稳渗速率为 0.53 mm/min,仅大于对照荒坡地的土壤稳渗速率 0.31 mm/min,而小于其它土地利用类,这主要与梯田改变了地面坡度,使得径流中携带的泥沙逐渐沉积下来,导致土壤颗粒组成变细,孔隙度减小有关。

由此可见,梯田等工程措施对降雨径流的调节并非主要是通过增加入渗,减小径流来实现的,因此,坡耕地上在狠抓基本农田建设的前提下,配置适当比例的耕作措施和生物措施,将会收到良好的水土保持效益和生态效益。

从流域治理前后土壤稳渗速率的变化情况看,已治理流域内的各土地利用类型的土壤稳渗速率均较未治理流域内相同土地利用类型的土壤稳渗速率高。如鸚鵡沟流域中林地的土壤稳渗速率平均为 3.2 mm/min,西沟流域土壤稳渗速率平均为 3.02 mm/min,鸚鵡沟流域林地土壤稳渗速率较西沟流域林地土壤稳渗速率提高了 5.96%。荒地的入渗速率也同样呈现出已治理流域大于未治理流域的变化规律,如鸚鵡沟流域荒地的土壤稳渗速率为 0.34 mm/min,西沟流域荒坡土壤稳渗速率为 0.31 mm/min,治理流域相对于未治理流域而言提高了 9.67%。流域在采取综合治理后,土壤涵养水源能力普遍提高。

从 2 个对比流域中各土地利用类型土壤稳渗速率的变异情况来看(见表 3),坡耕地和林地的土壤稳渗速率的变异系数最大,沟台地、荒地和梯田的土壤稳渗速率的变异系数较小。这主要是由于相同土地利用类型上种植作物类型不同以及土壤质地不同对土壤稳渗速率的影响不同有关。如以西沟流域中的坡耕地为例,本研究中坡耕地种植作物主要为小麦和花生,小麦地共有测点 3 个,花生地共有测点 2 个,其中小麦地的平均入渗速率为 0.97 mm/min,而花生地的平均入渗速率为 0.49 mm/min。同时由于土壤质地表现为黏壤土、粉砂质土壤以及砂壤土 3 种类型,

致使坡耕地土壤稳渗速率的最小值为 0.18 mm/min, 最大值为 1.95 mm/min, 二者相差近 10 倍。由此可见, 导致坡耕地土壤稳渗速率变异系数较大的主要原因为种植作物不同以及土壤质地不同对土壤水分的运动影响不同所致。林地同样也表现出这样的趋势, 以针叶林为主的林分土壤稳渗速率较以阔叶林为主的林分土壤稳渗速率小, 如西沟流域的 2 号和 6 号林地的林木种类为马尾松、侧柏混交林和麻栎林, 二者的土壤稳渗速率分别为 1.86 mm/min 和 4.18 mm/min。麻栎阔叶林为主的林分土壤稳渗速率为马尾松、侧柏混交林为主的针叶林林分土壤稳渗速率的 2.2 倍, 这主要与针叶林下一般无灌丛覆盖, 而阔叶林为主的林分林下有较多的灌丛和草本, 对土壤的改良作用要优于针叶林为主的林分有关。

表 3 流域各土地利用类型土壤稳渗速率变异性

| 流域名称 | 土地利用类型 | 平均值 | 最小值 | 最大值 | 标准差 S_d | 变异系数 C_v |
|-------|--------|------|------|------|-----------|------------|
| 西沟流域 | 坡耕地 | 0.66 | 0.18 | 1.95 | 0.44 | 0.57 |
| | 沟台地 | 0.78 | 0.25 | 0.81 | 0.19 | 0.34 |
| | 林地 | 3.02 | 2.25 | 3.80 | 1.64 | 0.54 |
| | 荒地 | 0.31 | 0.10 | 0.59 | 0.12 | 0.35 |
| 鸚鵡沟流域 | 坡耕地 | 1.14 | 0.20 | 2.60 | 0.73 | 0.64 |
| | 沟台地 | 1.23 | 0.64 | 1.82 | 0.43 | 0.35 |
| | 林地 | 3.20 | 2.40 | 4.44 | 1.69 | 0.53 |
| | 荒地 | 0.34 | 0.16 | 0.46 | 0.07 | 0.23 |
| | 梯田 | 0.53 | 0.36 | 0.70 | 0.12 | 0.23 |
| | 草地 | 3.50 | 3.50 | 3.50 | 0 | 0 |

注: 平均值、最大值、最小值单位为 mm/min。

3.2 影响入渗的因素分析

土壤为一多孔介质, 当水流在其中运动时, 其入渗状况无疑要受到土壤的孔隙度、前期含水量、土壤质地、土壤团聚体的水稳性、有机质含量等土壤物理和生物化学特性的影响^[9-10]。由于本研究中主要考虑的是土壤稳渗速率, 因此, 土壤前期含水量在此不予考虑, 只考虑土壤容重、孔隙度、有机质, 以及 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量 4 个因素。根据实测数据, 分析了两条对比流域土壤稳渗速率与上述 4 因素的相关性(见表 4—6)。

从表 5 中数据可见, 在影响土壤稳渗速率的 4 个因子中, 相关系数的大小均出现了 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量 > 有机质 > 孔隙度 > 容重的变化规律。其中, 有机质和 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量与土壤稳渗速率之间的关系最密切, 相关系数最大, 均在 0.05 水平上显著相关。孔隙度和容重与土壤稳渗速率也存在着一定的相关性, 但不明显。

表 4 鸚鵡沟流域土壤稳渗速率与各影响因子相关分析

| 项目 | 稳渗速率 | 容重 | 有机质 | > 0.25 mm 团聚体 | 孔隙度 |
|---------------|-------|--------|---------|---------------|--------|
| 稳渗速率 | 1.000 | -0.785 | 0.857* | 0.878* | 0.834* |
| 容重 | | 1.000 | -0.890* | -0.895* | -0.695 |
| 有机质 | | | 1.000 | 0.962** | 0.707 |
| > 0.25 mm 团聚体 | | | | 1.000 | 0.839* |
| 孔隙度 | | | | | 1.000 |

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关; ** 表示在 0.01 水平上显著相关。

表 5 西沟流域土壤稳渗速率影响因子分析

| 项目 | 稳渗速率 | 容重 | 有机质 | > 0.25 mm 团聚体 | 孔隙度 |
|---------------|-------|-------|--------|---------------|--------|
| 稳渗速率 | 1.000 | 0.869 | -0.728 | 0.954* | 0.836 |
| 有机质 | | 1.000 | -0.804 | 0.848 | 0.949 |
| 容重 | | | 1.000 | -0.883 | -0.950 |
| > 0.25 mm 团聚体 | | | | 1.000 | 0.908 |
| 孔隙度 | | | | | 1.000 |

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关。

表 6 影响土壤稳渗速率的土壤性质对比

| 流域名称 | 土地利用类型 | 容重/ ($g \cdot cm^{-3}$) | 有机质/ ($g \cdot kg^{-1}$) | > 0.25 团聚 体含量 | 孔隙 度/% |
|-------|--------|------------------------------|-------------------------------|------------------|-----------|
| 西沟流域 | 坡耕地 | 1.37 | 1.89 | 33.56 | 42.70 |
| | 沟台地 | 1.41 | 1.83 | 25.85 | 35.60 |
| | 林地 | 1.37 | 2.91 | 44.58 | 48.36 |
| 鸚鵡沟流域 | 荒地 | 1.40 | 1.24 | 26.50 | 29.00 |
| | 坡耕地 | 1.35 | 2.11 | 36.83 | 45.13 |
| | 沟台地 | 1.41 | 1.28 | 25.41 | 46.11 |
| | 林地 | 1.35 | 3.18 | 48.12 | 49.54 |
| | 荒地 | 1.42 | 1.23 | 16.17 | 30.18 |
| | 梯田 | 1.43 | 1.47 | 26.55 | 41.59 |
| | 草地 | 1.36 | 2.55 | 40.30 | 53.23 |

从表 6 中可以看出, 流域在综合治理前后土壤容重、有机质、> 0.25 mm 水稳性团聚体含量以及孔隙度均发生了较明显的改变, 均表现出已治理流域土壤有机质、> 0.25 团聚体含量和孔隙度大于未治理流域, 容重变化不明显的趋势。表明流域在实施水土保持措施后, 有效改善了土壤的通气、透水性, 使得土壤稳渗速率增大, 土壤涵养水分与供应作物所需水分的能力有所增强。

(下转第 38 页)

需要大量的教学、住宿以及活动用地,所以建设面积增加。加之,服务行业的需求不断增加,其流动人口规模不断扩大,相应地各种配套设施不断调整与完善。目前,杨凌城区的面积已由最初的 4 km^2 增加到 22.12 km^2 。

[参 考 文 献]

- [1] Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land Use and Land Cover Change[R]. Science/ Research Plan IGPB Report No35 & HDP Report No 7 IGBP, 1995. 52—60.
- [2] Helmut Geist. An Over view of Research Projects 1997—2001. LUCC News letter[J]. 2001(6) : 1—3.
- [3] Annemarie. Land Use and Land Cover Change: The LUCC Science Plan in Europe. LUCC News letter [J].

1997(1) : 7—14.

- [4] 刘纪远,张增祥,等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003, 22(1) : 1—12.
- [5] 龙花楼,李秀彬. 长江沿线样带土地利用变化时空模拟及其对策[J]. 地理研究, 2001, 20(6) : 660—668.
- [6] 李仁东,等. 江汉平原土地利用的时空变化及其驱动因素分析[J]. 地理研究, 2003, 22(4) : 423—431.
- [7] 朱会义,何书金,张明. 环渤海地区土地利用变化的驱动力分析[J]. 地理研究, 2001, 20(6) : 669—678.
- [8] 张明. 榆林地区脆弱生态环境的景观格局与演化研究[J]. 地理研究, 2000, 19(1) : 30—36.
- [9] 张惠远,赵昕奕,蔡运龙,等. 喀斯特山区土地利用变化的人类驱动力机制研究[J]. 地理研究, 1999, 18(2) : 136—142.

(上接第 14 页)

4 结 论

(1) 通过实测秦巴山区 2 条对比小流域不同土地利用类型下的土壤稳渗速率以及相关土壤物理、化学性质,结果表明:土壤稳渗速率与土壤容重、有机质、 $> 0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量以及孔隙度等因素有关,尤其是有机质和 $> 0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量与稳渗速率达显著相关水平。小流域在采取退耕还林、坡改梯等水土流失综合治理后,土壤有机质、 $> 0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量均较未治理流域有所提高,有效改善了土壤的通气、透水性,土壤涵蓄水分与供应作物所需水分的能力有所增强,是已治理流域稳渗速率大于未治理流域稳渗速率的主要原因。

(2) 梯田等工程措施对土壤稳渗速率的改善作用不明显,表明它对降雨径流的调节并非主要是通过增加入渗来有效减少地表径流的。因此,在实行水土保持工程措施时配置适当比例的耕作措施和生物措施,有效改善土壤入渗性能将会收到良好的水土保持效益和生态效益。

[参 考 文 献]

- [1] 汤立群,陈国祥. 水土保持减水减沙效益计算方法研究[J]. 河海大学学报, 1999, 27(1) : 79—84.
- [2] 包为民. 流域水沙变化原因分类定量分析[J]. 地理科学, 1997, 17(1) : 41—46.

- [3] 焦菊英,王万中,李靖. 黄土丘陵区不同降雨条件下水平梯田的减水减沙效益分析[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(3) : 59—63.
- [4] 穆兴民,王文龙,徐学选. 黄土高原沟壑区水土保持对小流域地表径流的影响[J]. 水利学报, 1999(2) : 72—75.
- [5] 张升堂,康绍忠,张楷. 黄土高原水土保持对流域降雨径流的影响分析[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6) : 56—59.
- [6] Davidsion M R. Numerical calculation of saturated—unsaturated infiltration in a cracked soil[J]. Water Resource Research, 1985, 21: 709—714.
- [7] 冯绍元,丁跃元,姚彬. 用人工降雨和数值模拟方法研究降雨入渗规律[J]. 水利学报, 1998, 11: 17—20.
- [8] 周择福,洪玲霞. 不同林地土壤水分入渗和入渗模拟的研究[J]. 林业科学, 1997, 33(1) : 9—17.
- [9] 雷廷武,刘汗,潘英华,等. 坡地土壤降雨入渗性能的径流—入流—产流测量方法与模型[J]. 中国科学 D 辑(地球科学), 2005, 35(12) : 1180—1186.
- [10] 康绍忠,张书函,聂光镛,等. 内蒙古敖包小流域土壤入渗分布规律的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(2) : 38—46.
- [11] 刘贤赵,康绍忠. 陕西王东沟小流域野外土壤入渗试验研究[J]. 人民黄河, 1998, 20(2) : 14—17.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [13] 张爱国,张平仓,杨勤科. 区域水土流失土壤因子研究[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [14] 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.