

不同外界条件下土壤入渗性能的研究

夏江宝, 杨吉华, 李红云

(山东农业大学水土保持系, 山东 泰安 271018)

摘 要: 概述了不同林地、草地、地形地貌、土地利用方式等外界条件对土壤入渗性能的影响, 初步总结出不同外界条件下土壤入渗的变化规律, 为保持水土、提高土壤水分生产力提供重要的科学依据。

关键词: 林分; 草地; 地形地貌; 土地利用方式; 土壤入渗

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)02-0115-03

The Research of Soil Infiltration in Different Outside Factors

XIA Jiang-bao, YANG Ji-hua, LI Hong-yun

(Department of Soil and Water Conservation, Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong, China)

Abstract: The studies of the effect of different forest, meadow, landform and physiognomy, and the using mode of ground on soil infiltration were summarized as well as the changing law of soil infiltration in different outside factors. The important gist was offered for the conservation of soil and water, the improvement of soil water productivity.

Key words: forest; meadow; landform and physiognomy; the using mode of ground; soil infiltration

我国是土壤侵蚀较为严重的国家之一, 而渗透性是反映土壤侵蚀能力的重要指标, 为此, 近年来许多专家建议将“增加土壤入渗、就地拦蓄降雨径流”作为防治土壤侵蚀的战略决策^[1~2]。土壤入渗是指降雨落到地面上的雨水从土壤表面渗入土壤形成土壤水的过程, 它是降雨-径流循环中的一个重要环节^[2]。因此, 土壤入渗是分析模拟土壤侵蚀过程的重要参数, 同时也是实施水土保持规划时需要认真考虑的因素。由此可见, 通过探讨不同外界条件(诸如地类、林分、地形、地貌部位、土地利用方式、不同水土保持措施)下的土壤入渗性能, 总结各因子下土壤入渗的变化规律, 将有助于进一步研究地表产流的机理及其规律^[3], 揭示水量转化关系及“五水”(大气降水、地表水、地下水、土壤水、植物水)转化机理, 以从更深层次上摸清水量转化规律。这对土壤侵蚀的预测和防治、洪水的预报、各种水土保持措施的最优化配置及其效益评价都具有极为重要的指导意义, 同时为增加土壤蓄水、农田水分最优化调控、合理有效地利用土壤“水库”的调节功能、提高土壤水分生产力等方面具有重要的理论和现实意义。

土壤对降水的入渗是水在土体内运行的初级阶段, 土壤的入渗性能受制于许多内在因素的影响, 诸如: 土壤剖面特征、土壤含水量、导水率及土壤表面特征等^[4~7]。特别是土壤导水率又取决于土壤孔隙的几何特征(总孔隙度、孔隙大小

分布及弯曲度)、流体密度和黏滞度、温度等因子^[3,8]。不同林地、草地、地形地貌、土地利用方式等外界条件对土壤内在理化性质均有显著的影响, 从而形成不同外界条件下土壤入渗的特异规律。本文总结前人的研究成果, 对不同外界条件下土壤入渗的性能做一归纳、分析和评述, 以其为今后在这方面的深入研究提供一些有价值的信息。

1 林地土壤入渗性能的研究

1.1 林分对土壤入渗的影响机理

土壤的通透性主要取决于当量孔径超过 0.02(或 0.06) mm 的非毛管孔隙, 这些大孔隙结构对土壤入渗性能产生巨大的影响, 而土壤大孔隙的形成与植物有重要的关系^[3,9]。在水分渗透上起决定作用的孔隙是林木根系腐烂后形成的管状孔隙, 而根系在土体内的增大、增粗, 与土体之间常形成间隙; 同时, 随着根系的死亡、腐烂, 这些大孔隙在逐步增多。植物枯枝落叶, 分解释放养分归还给土壤, 对土壤结构产生巨大影响, 一方面枯枝落叶为土壤中的动物、微生物的活动提供食物, 其生物活动易在土体内产生孔隙; 另一方面枯落物分解后形成的腐殖质或非腐殖质与黏粒结合形成微团聚体, 使土体变得疏松透水, 同时枯落物的存在和团粒结构的形成, 提高了土壤表面的糙率, 阻缓径流, 起到了增加入渗的功效^[10]。林冠、枯枝落叶对大气降水的拦截作用, 降低和延缓了到达林地土壤表面的降雨量和降雨强度, 延长了降雨过

收稿日期: 2004-01-03

基金项目: 山东省人民政府可持续发展科技示范工程“山区生态资源保护及综合开发利用技术的研究与示范”项目资助

作者简介: 夏江宝(1978-), 男(汉族), 硕士研究生, 主要研究方向: 流域综合治理。

程,从而延缓了从初渗到稳渗的递减梯度,有利于提高入渗速率,增加积累入渗量^[3,11]。

1.2 林分对土壤入渗速率的影响

1.2.1 林分类型对土壤入渗速率的影响

同时为了分析不同林地之间的相互差异性,许多学者^[12~13]对不同地类做多重比较,进行 D 检验和 F_{\max} 检验发现,沙棘林地对于其它地类都具有显著差异,而在其它地类之间差异并不显著,即在刺槐林地与油松林地之间,荒草地与农耕地之间差异不十分显著。可见灌木林改良土壤,提高土壤入渗性能的作用最强,其次是刺槐林和油松林,而这两林分之间差异并不明显;胡海波^[13]等对 12 种林分类型进行 F 检验,求得 $F_{\max} = 1\ 890\ 5$,其临界值 $F_{0.05} = 7\ 48$,所以不同样地的土壤渗透速率差异显著,林地初渗速率大,在降雨初期能吸收大量降雨。且指出由于各种因素的时空分布很不均匀及土地的异质性,即使同一林分,渗透速率仍相差很大^[13~14],且这种差异性普遍存在,所以测定渗透速率时至少重复 5~8 次,才能得到较为理想的结果。

1.2.2 植被盖度对土壤入渗速率的影响

在其它条件基本一致的情况下,覆盖度不同,则单位面积上枯落物凋落量、分解速度和养分归还量不同,其改土能力也不同,从而导致土壤入渗速率和入渗量不同^[15~16]。王忠科^[15]、周星魁^[16]研究得出:土壤水分的入渗速率随植被覆盖度的增加而增加,即覆盖度越大稳渗率越大,经拟合两者之间的线性关系为: $I_c = 22\ 80 + 56\ 77C$

相关系数 $r = 0\ 97$; I_c ——稳渗率(mm/h); C ——植被盖度(%)

累积入渗量与植被覆盖度关系也可用经验公式 $y = a^{bx}$ 描述,即在单位时间内土壤入渗量随覆盖度的提高而呈幂函数增大^[3]。

2 草地土壤入渗性能的研究

2.1 草地对土壤入渗的影响机理

对草地而言,草地密度对入渗影响较大,不同密度草地入渗性能不一样^[17]。由于天然草地长期超载、过牧,导致草地严重退化,植被盖度下降,雨滴直接打击地面形成了较为致密的“结皮”层,使入渗速率降低;而人工草地经人工栽培,表层土质疏松,未形成“结皮”层,特别是豆科牧草具有更好的改良土壤的能力,所以入渗速率较大^[18,19]。

2.2 草地对土壤入渗速率的影响

据史世斌^[18]等研究,草地的入渗过程分为三个阶段,即瞬变段、渐变段和平稳段。瞬变段在 0~4 min,其累积入渗量:人工草地为 18.0 mm,天然草地为 14.1 mm;渐变段持续时间在 120~140 min,即草地达到稳定入渗的时间。前 30 min 累计入渗量,人工草地 57.46 mm,比天然草地(42.47 mm)高 15 mm。比较稳渗率,发现人工草地单元的值最大(4.237 mm/h),自然草地单元次之(4.186 mm/h),农田生态单元最小(4.031 mm/h)^[20]。同一时刻两条曲线入渗速率关系:人工草地 > 天然草地^[18~19];禁牧草地 > 放牧草地^[3]。可见水土保持种草措施显著提高土壤入渗率,特别是人工草地作用更加明显。通过对草地实测资料运用考斯加科夫公式、霍顿公式、指数公式和通用经验公式进行拟合分析^[18],

得出人工草地的最佳积水入渗模型: $i = 1\ 764 e^{(0.8771/t)}$ (指数公式)。

天然草地的最佳积水入渗模型: $i = 3\ 874 t^{-0.573} + 0\ 784$ (通用公式)。

3 地形地貌对土壤入渗性能影响的研究

3.1 地形地貌对土壤入渗的影响机理

同一地面随坡度、坡向、坡位等的不同,土壤入渗速率存在着较大差异^[19~21]。坡度对降水入渗的影响表现在两个方面,一是降水在坡面上再分配;二是随着地面坡度的变陡,土壤稳定性下降,降水速率呈现明显变化^[22~23];坡向对土壤入渗的影响主要表现在阴阳坡植被生长状况有差异,形成枯枝落叶、土壤中腐殖质及地表干燥度不同来影响土壤入渗;坡位对土壤入渗性的影响表现在:各坡位的初始含水率、土壤稳定性及土壤容重从上到下各不同,从而影响土壤入渗^[21~24]。地貌制约着物质和能量在地表的再分配,不同地貌单元上土壤入渗不同,一般山地丘陵土壤入渗率较快,低平地土壤入渗有快有慢,但以慢者居多^[25]。

3.2 地形地貌对土壤入渗速率的影响

3.2.1 不同坡度对入渗速率的影响

许多研究表明^[15,16,19~21],随着坡度的增加,土壤稳渗率呈现下降的趋势。据王忠科、周星魁^[15,16]研究,在 20 范围内,坡度越大,稳渗率越小,而且两者存在一定的线性关系,经拟合关系为: $I_c = 36\ 64 - 1\ 03\alpha$

相关系数 $r = -0\ 98$; I_c ——稳渗率(mm/h); α ——地面坡度(°)

各单元平均入渗速率随坡度的增加呈指数曲线下降^[20],据袁建平^[21]研究,无论是刺槐林地、农耕地还是撂荒地,随着坡度的增加,土壤稳渗率均呈现下降趋势,因此要想增加土壤降水入渗,必须减缓地面坡度,变坡地为平地(坡改梯)。

3.2.2 不同坡向对入渗速率的影响

不同坡向土壤入渗性能也存在较大差异,试验表明^[19,21],阳坡初渗率大于阴坡,但随着时间的推移,阳坡土壤入渗率衰减快于阴坡,造成阴坡入渗率大于阳坡,这于阴坡植被状况好于阳坡,且阴坡枯枝落叶层厚度优于阳坡有密切关系,阳坡初渗率大与其初始含水率低有关。

3.2.3 不同坡位对入渗速率的影响

同一坡向不同位置的入渗性能不同,试验表明^[19,21],无论是林地、草地还是农地,土壤稳渗率和产流历时数值均随坡位由上而下逐渐增加;坡顶的初始入渗率大,而入渗率随时间衰减较快;坡脚的初始入渗率小于坡顶,但坡脚的入渗率随时间下降较慢,而稳渗率要大于坡顶。具体多表现为,在同一雨强作用下,由坡上部到坡下部随土壤初始含水率的递增,阴坡地土壤初始入渗速率呈规律性变化;坡中部达到稳渗的时间略高于坡上部,而坡下部出现稳渗的时间则高于坡上部。

从以上地形地貌的分析可知,土壤入渗的空间变异性很大^[11,21,25],造成差异的根本原因在于土壤性质,特别是土壤物理性质的差异。

4 土地利用方式对土壤入渗性能影响的研究

4.1 不同土地利用方式对土壤入渗的影响机理

影响土壤降水入渗的主要因素是土壤自身性质如土壤质地、容重、含水率、孔隙度、地表结皮、水稳性团粒等因子^[21], 而土地利用方式的不同, 改变了土壤质地, 使土壤中各因子发生了较大的变化, 从而影响到土壤入渗速率之间有较大差异, 具体表现在^[29, 30]: 在土层较薄而石质含量较多的劣等土地上建造植被以后, 土壤物理性质开始变化, 易使表层土壤容重减轻, > 0.25 mm 水稳性团粒含量增加; 水平梯田减小地面坡度, 增加地表糙率, 削弱径流流速; 不同整地措施, 诸如鱼鳞坑、水平阶等, 能拦蓄降水。以上土地利用方式改善了土壤的理化性状, 能起到较好的强化入渗作用。

4.2 不同土地利用方式对土壤入渗速率的影响

4.2.1 同一地形种植不同植被对入渗速率的影响

康绍忠^[19]等进行 32 次试验, 用 KocTakob 公式、Horton 公式、通用经验公式比较分析得出入渗速率是庭院前小葱菜地> 坡面杨树林地> 向日葵残茬坡耕地> 坡面天然草地> 以冬灌的水浇地; 对王东小流域同一塬面 4 种不同植被条件下入渗速率进行研究得出: 入渗性能苹果地最好, 小麦田、苜蓿地大于撂荒地^[25]; 刺槐、柠条、沙棘林土壤入渗性能均高于荒地, 从初渗率到稳渗率, 刺槐林最高, 初渗率柠条最高, 沙棘林稳渗率高于柠条林^[26]; 袁建平^[27]得出入渗速率变化快慢顺序为: 刺槐林地< 沟垄耕作糜子地< 普通耕作糜子地< 坝地南瓜地< 小麦地< 撂荒地, 而稳渗率大小则依次相反。果园的最初入渗率(开始 3 min 平均入渗率)最大, 是林地的 3 倍, 草地的 5 倍; 尔后, 农、果、灌、林的土壤入渗率迅速下降, 入渗 15 min 时, 降幅分别为 36.7%、46.2%、36.9% 和 44.2%, 而草地的入渗率则增加了 67%; 入渗 15~30 min 期间, 各利用方式土壤入渗率约下降了 20%; 稳定入渗率大小顺序为: 果园> 农地> 灌木> 草地> 林地^[28]。可见, 同一地形下种植不同植被土壤入渗有很大的差异。

4.2.2 坡耕地上采取几种不同水土保持措施对入渗速率的影响

坡耕地^[19, 29~30]主要依靠延缓径流发生的时间和减少坡面产沙两个方面来强化入渗。坡耕地上采取保持水土耕作

措施、工程措施(诸如水平沟种植、水平沟草粮等高带状间作、水平沟种草、修筑隔坡梯田等)都有明显的延迟径流发生时间, 强化降水入渗减少径流量和减少坡面产沙量的功效^[29]。且不同类型的坡地入渗速度也有差异, 老梯田> 坡耕地> 新梯田^[24]; 同是水平梯田大豆地、沟垄耕作地的入渗性能比普通耕作要好^[19]; 强化降水入渗和削减坡面产沙量强弱循序是: 水平梯田> 隔坡梯田> 水平沟种草> 水平沟草粮等高带状间作> 水平沟种植谷子> 传统种植谷子> 休闲地^[29]; 在相同的降雨条件下, 等高耕作土壤稳渗速率和产流历时> 人工掏挖> 人工锄耕> 对照直线坡^[30]。因此, 在坡耕地上, 在狠抓基本农田(水平梯田或隔坡梯田^[24, 29])建设的前提下, 配置适当比例的耕作措施(水平沟种植^[19, 29])和生物措施(人工草地^[3, 18, 19, 29]), 将会收到良好的水土保持效益和生态效益。

4.2.3 整地造林措施对入渗速率的影响

在水土流失严重、林木生长立地条件很差、25°以上的陡坡荒地上造林, 为了提高造林成活率常采取诸如开挖鱼鳞坑、水平阶等整地工程措施^[29, 31]。这些措施能拦蓄降水, 强化入渗。石生新研究发现^[31], 随着降雨历时的延续, 水平阶整地造林措施强化降雨入渗作用减小, 并趋于某一常数; 而鱼鳞坑整地造林措施随着雨强的不同而出现差异。可见不同造林整地措施对强化降雨入渗有一定的作用, 但这种效应随着降雨历时和雨强的不同而表现出较大的差异。

5 结 语

土壤入渗性能的研究中, 在做好土壤本身内在因子对入渗影响的基础上, 应进一步探讨不同外界条件下土壤入渗的变化规律, 这对充分了解土壤入渗的本质及不同的变化规律有重要意义。今后在土壤入渗的研究中, 以下几个方面应做进一步的深入探讨, 即: (1) 定量估计不同外界条件下增加土壤入渗对减少土壤侵蚀的流失量, 以进一步明确增加土壤入渗的重要性; (2) 建立不同外界条件下各土壤类型的入渗模型, 并从众多的影响因素中明确主导控制因子; (3) 探索增加土壤入渗的技术途径; (4) 依据土壤入渗性能、土壤类型和土壤侵蚀状况等指标进行土壤入渗能力的区域划分。

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] 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.
- [3] 郭忠升, 吴钦孝, 任锁堂. 森林植被对土壤入渗速率的影响[J]. 陕西林业科技, 1996, (3): 27-31.
- [4] Helalia A M. The relation between soil infiltration and effective porosity in different soils[J]. Agricultural Water Management, 1993, 24: 39-47.
- [5] Philip J R. The theory of infiltration: 5, the influence of the initial moisture content[J]. Soil Sci, 1958, 84: 329-339.
- [6] Baunhards R L. Modeling infiltration into sealing soil[J]. Water Resource Res, 1990, 26(1): 2497-2505.
- [7] Mein R G, Larson C L. Modeling infiltration during a steady rain[J]. Water Resource Res, 1973, 9(2): 384-394.
- [8] Duck H R. Water temperature fluctuations and effect irrigation infiltration[J]. Trans. ASAE, 1992, 34(2): 193-199.
- [9] Edwards W M, Norton L D, Redmond C E. Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled[J]. Soil Science Society of America Journal, 1989, 132: 233-239.
- [10] Dao T H. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 157: 1586-1594.
- [11] 吴长文, 王礼先. 林地土壤的入渗及其模拟分析[J]. 水土保持研究, 1995, 2(1): 71-75.
- [12] 陈丽华, 余新晓. 晋西黄土地区水土保持林地土壤入渗性能的研究[J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(1): 42-47.

为在流域规划中有水土保持章节,区域水土保持规划就可以不做。实际上这是不符合水土保持法要求。各区县应认真对待规划编制工作,未完成的区县应尽快完成,已编制初稿的应抓紧评审后撤批。做好规划,可有效避免盲目投资,重复投资,或零零散散,不成规模,效益低下的问题。有了规划还要牢固树立按规划实施,坚持不懈,为后人铺路的思想,一任接着一任干,才能旧貌换新颜。

3.4 深入调研,储备项目,争取多渠道投资

我市的水土保持项目前期工作这几年有了长足的进步,但是项目库的建设尚在开始阶段,近几年国债项目按照基建程序报批时,已经明显暴露了一些问题。今后按照上级文件要求,先有项目,后安排资金。因此,我们必须高度重视项目的前期工作,在规划的基础上抓紧编制项目建议书,每个区县至少储备3个以上的项目供挑选,特别要储备一些高质量的项目供外商投资选择。平时不储备,临时仓促抓,搞出来的本本必然考虑不成熟、质量差,有时可能错过争取投资的大好机会,只有储备了充足的好项目,才能争取更多的投资机会。

3.5 抓点带面,树立样板,搞好水土保持示范工程建设

1999年水利部和财政部在全国实施水土保持生态环境建设“十百千”示范工程,黄山市、黄山区以及歙县的太平溪、黄山区辅村河、屯溪区资源河三条小流域分别列入其中,并于2000年通过国家验收,获得财政部、水利部命名,这对我市的水土保持工作起到了巨大的推动作用。近年来,我市借此东风,各级党委政府发动群众不等不靠,自觉开展水土保持工作,并抢抓机遇争取到上级资金文持,新上了一批水土保持重点项目,取得了显著成效。有不少小流域已经达到“全

国示范小流域”验收标准,2002年经过各区县申报,市局初审,从中精选出10条小流域申报示范小流域,这些小流域各具特色:既有世界著名的风景区、自然保护区所在流域,又有原来荒山秃岭,现在绿满山头的普通土石山区;既有国家补助资金扶持的重点治理区,又有当地党委政府组织群众自力更生、艰苦创业,自筹资金和投工投劳防治水土流失地区;既有以预防保护措施为主,充分发挥生态自我修复能力,恢复和保持合理林种结构的地区,又有以开发性治理为主,在发展经济的同时防治水土流失,保护生态环境的成功典型。在2002年洪灾过后调查中,发现这些地区灾情都普遍相对较轻,因此这些小流域具有很强的示范带动作用。这些小流域如能被验收命名,无疑将成为我市水土保持新的亮点。下一步的还需要从中选出一、二条有代表性的小流域集中人力物力巩固提高,使其尽可能多地汇聚各条小流域的特点,成为能代表黄山市水平的“精品工程”。

3.6 依靠科技,培养人才,发展水土保持事业

科学技术是第一生产力,水土保持事业的发展,科学技术必须先行,而科技是需要人才来应用,我市的水保机构较健全,人员也基本稳定,但高素质的人才较缺乏,人员知识老化严重,由于受经费限制,接受培训的机会不多,长此下去,势必会制约水土保持事业发展,必须引起高度重视。有关单位应创造条件加强对人才的培养,使水土保持事业后继有人。对外地比较成熟的高科技成果,应积极选择应用到本地区,目前有的区县已经开展试点工作,但大部分地区水保工作还是沿用老套套,缺少新内容,因此必须大力提倡新思想、新观念、新品种、新方法,依靠科技推动水土保持事业走向新的高度。

(上接第117页)

- [13] 胡金波,张金池. 平原粉沙淤泥质海岸防护林土壤渗透特性的研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 39- 42
- [14] 张永涛,杨吉华,夏江宝,等. 石质山地不同条件的土壤入渗特性研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 123- 126
- [15] 王忠科. 植被盖度及地面坡度影响降雨入渗过程的试验研究[J]. 河北水利水电技术, 1994, (4): 63- 64
- [16] 周星魁,王忠科,蔡强国. 植被和坡度影响入渗过程的试验研究[J]. 山西水土保持科技, 1996, (4): 10- 13
- [17] 刘贤赵,康绍忠. 降雨入渗和产流问题研究的若干进展及评述[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 57- 62
- [18] 史世斌,胡珊,康绍忠,等. 内蒙古敖包小流域水土保持种草措施对土壤积水入渗动态的影响[J]. 内蒙古水利, 1996, (3): 14- 18
- [19] 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
- [20] 黄明斌,李玉山,康绍忠. 坡底单元降雨产流分析及平均入渗速率计算[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(1): 63- 68
- [21] 袁建平,张素丽,张春燕,等. 黄土丘陵区小流域土壤稳定入渗速率空间变异[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 579- 583
- [22] Philip J R. Hillslope infiltration: planer slope [J]. Water Resource Res, 1991, 27(6): 1035- 1040
- [23] Philip J R. Hillslope infiltration: divergent and convergent slopes [J]. Water Resource Res, 1991, 27(6): 1035- 1040
- [24] 张永涛,王洪刚,李增印,等. 坡改梯的水土保持效益研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(3): 9- 11
- [25] 刘贤赵,康绍忠. 黄土高原沟壑区小流域土壤入渗分布规律的研究[J]. 吉林林学院学报, 1997, 13(4): 203- 208
- [26] 侯喜禄,白岗栓,曹清玉. 刺槐、柠条、沙棘林土壤入渗及抗冲性对比试验[J]. 水土保持学报, 1995, 9(3): 90- 95
- [27] 袁建平,雷廷武,郭索彦,等. 黄土丘陵区小流域土壤入渗速率空间变异性[J]. 水利学报, 2001, (10): 88- 92
- [28] 许明祥,刘国彬,卜崇峰,等. 圆盘入渗仪测定不同利用方式土壤渗透性试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 54- 58
- [29] 石生新,蒋定生. 几种水土保持措施对强化降水入渗和减沙的影响试验研究[J]. 水土保持研究, 1994, 1(1): 82- 88
- [30] 吴发启,赵西宁,余雕. 坡耕地土壤水分入渗影响因素分析[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 16- 18
- [31] 石生新. 整地造林措施对强化降雨入渗和减沙的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(4): 54- 59