

积水条件下连续和间歇供水对土壤入渗特性的影响

龙天渝, 王延青, 安强, 程超, 杜坤

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要: 土壤入渗与地表径流、土壤侵蚀、土壤养分流失和面源污染等密切相关。通过对紫色土中的黏壤土进行不同积水深度下连续供水和相同积水深度下间歇供水的土柱模拟实验, 对紫色土一维垂向入渗特性进行了研究。结果表明, 当积水深度为 1~10 cm 时, 积水深度对累积入渗量及入渗率基本上没有影响; 积水深度一定时, 连续供水下土壤容重和初始含水率对紫色土入渗特性有较大影响, 累积入渗量和入渗率随土壤容重和初始含水率的增加而减少; 积水深度一定时, 间歇供水下紫色土入渗曲线为间断的非连续曲线, 第 1 周期与连续供水的入渗过程一致。从第 2 周期开始, 间歇供水的累积入渗量及入渗率均小于同条件下的连续供水, 间歇供水的紫色土入渗特性与供水周期及循环率等密切相关。

关键词: 紫色土; 入渗特性; 积水; 供水方式

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)03-0007-04

中图分类号: S152.7

Effects of Continuous and Intermittent Water Supply on Infiltration Characteristics of a Purple Soil Under Ponding Condition

LONG Tian-yu, WANG Yan-qing, AN Qiang, CHENG Chao, DU Kun

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Area Ecological Environment of the Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Infiltration process, in general, is closely related to surface runoff, soil erosion, loss of soil fertility and non-point source pollution. Two series of soil column experiments were performed to study the characteristics of one-dimensional vertical infiltration into a purple clay soil. One was the simulation under the condition of continuous water supply at different ponding water depths and the other was that under intermittent water application at the same water depths. Results indicated that there was no significant effect of ponding water depth on infiltration rate and cumulative infiltration when ponding water depth is between 1 and 10 cm. Soil bulk density and initial water content had great impacts on the infiltration characteristics under the condition of continuous water supply at some ponding depth, which means that infiltration rate and cumulative infiltration increase with the decreased soil bulk density and initial water content. The curves of infiltration into the purple soil are discontinuous under intermittent water application at some water depth. The process in the first period was the same as that under the condition of continuous water supply, and however, infiltration rate and cumulative infiltration were both less than those under the condition of continuous water supply in the second period. The characteristics of infiltration into the purple soil under intermittent water application show significant relation to the cycle and rate of water supply.

Keywords: purple soil; infiltration characteristic; ponding water; water supply way

土壤入渗过程是水文循环的重要组成部分, 与土壤水的再分配, 土壤侵蚀, 养分随水分的迁移和农业面源污染等密切相关。紫色土是川中丘陵区主要的耕地资源, 它是由紫色页岩发育而成的土壤, 其较大

的孔隙度导致其入渗能力较强。紫色土耕地通常土层浅, 且下伏透水性极弱的泥页岩。正是由于紫色土独特的岩土结构, 加之紫色土所处地区雨量丰沛, 降雨集中且暴雨较多, 致使紫色土耕地成为长江上游地

收稿日期: 2011-08-29

修回日期: 2011-11-09

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项“次级支流污染负荷削减技术研究示范”(2009ZX07104-002); “十二五”国家科技支撑计划重点项目“三峡库区低产坡地改造与面源污染减控技术示范”(2011BAD31B03); 重庆市自然科学基金计划重点项目“三峡库区紫色土坡耕地氮磷迁移转化与流失过程的模拟研究”(CSTC2011BA7021)和江苏省环境科学与工程重点实验室开放课题“基于分布式水文模型的农业面源污染时空分布模拟及其调控对策研究”(ZD91201)

作者简介: 龙天渝(1960—), 女(汉族), 重庆市人, 教授, 博士生导师, 研究方向为水污染控制和水环境模拟。E-mail: wyq2609@126.com。

区水土流失最为严重的土壤类型,严重的水土流失也导致三峡库区和长江上游的水质污染^[1-2]。

目前有关紫色土入渗特性的研究主要是在人工降雨条件下研究降雨强度和降雨历时对具有不同植物群落、地貌条件和土地利用类型的紫色土入渗特征的影响^[3-15]。而对于在地表积水条件下,积水深度以及不同的供水方式对紫色土入渗特性的影响研究鲜有报道。本文采用土柱模拟实验的方法,针对紫色土中的黏壤土进行了不同积水深度下连续供水和相同积水深度下间歇供水实验,对紫色土一维垂向入渗特

性进行了研究,以期对紫色土保水保肥以及面源污染防治提供一定的理论参考。

1 材料与方 法

1.1 实验材料和装置

供试土壤为灰棕紫色土,采自重庆地区西南大学国家紫色土肥性研究基地,质地为壤土,自然条件在三峡库区具有代表性。供试紫色土的 pH 值为 7.20,有机质含量为 12.1 g/kg,全氮为 0.78 g/kg 和全磷为 0.49 g/kg,其结构和组成如表 1 所示。

表 1 供试紫色土的结构和组成

土壤类型	质地	总孔隙度/%	石砾/% (>2 mm)	粗沙/% (2~0.2 mm)	细沙/% (0.2~0.02 mm)	粉沙/% (0.02~0.002 mm)	黏粒/% (<0.002 mm)
紫色土	黏壤土	48.37	0	19.53	28.10	33.68	18.69

采用室内土柱实验的方法来研究紫色土一维垂向入渗特性^[16-17]。实验由马氏瓶供水,并设置阀门控制,土柱装置高为 70 cm,内径为 10 cm。实验前,将供试土壤按实验设计容重分层装入柱内,根据紫色土耕地通常的土层深,土层深度定为 50 cm。

实验采用马氏瓶进行自动连续供水,并保持积水深度不变。实验过程中根据马氏瓶的水位读数,计算出任意时间累积入渗量和入渗率。

1.2 不同积水深度下连续供水实验

在不同的积水深度下,分别对 10 组不同容重和不同初始含水率的紫色土进行了实验。具体实验方案见表 2。每组实验重复 2 次,实验数据取 2 次的均值。

表 2 不同积水深度下连续供水实验方案

实验次数	容重/ (g·cm ⁻³)	初始含水率/%	积水深度/ cm
1	1.20	10	6
2	1.36	10	6
3	1.50	10	6
4	1.60	10	6
5	1.20	5	6
6	1.20	15	6
7	1.20	20	6
8	1.20	10	1
9	1.20	10	3
10	1.20	10	10

1.3 相同积水深度下间歇供水实验

取紫色土容重为 1.2 g/cm³,初始含水率为 10%,在积水深度为 6 cm 的条件下,分别对不同的间

歇供水周期(供水时间与断水时间之和)和循环率(1 个周期内,放水时间与周期的比值)进行了 3 组实验。具体实验方案见表 3。每组实验重复 2 次,实验数据取两者的均值。

表 3 相同积水深度下间歇供水实验方案

实验次数	周期时间/min	循环率/%
1	20	0.25
2	20	0.5
3	40	0.5

2 结果与讨论

2.1 积水深度对紫色土入渗特性的影响

在容重 1.20 g/cm³,初始含水率 10%的条件下,不同积水深度的紫色土入渗率及累积入渗量随入渗时间的变化关系见图 1a 和图 1b。

从图 1a 和图 1b 中可以看出,积水深度为 1~10 cm 时积水深度对紫色土入渗特性基本上没有影响。入渗率为凹函数形式,前期入渗率较大,中期入渗率变化幅度逐步减小,到入渗后期入渗率基本不变;不同积水深度下,累积入渗量为凸函数形式,前期变化较快,后期趋于平缓。4 种不同积水深度条件下,紫色土入渗率均随时间的增长而不断减小,并均在 55 min 左右趋于平缓,之后逐步达到稳定入渗率约为 20 mm/h。60 min 累积入渗量约为 98 mm。

2.2 土壤容重对紫色土入渗特性的影响

在紫色土积水深度 6 cm,含水率 10%的条件下,不同容重的紫色土入渗率及累积入渗量随入渗时间的变化关系见图 1c 和图 1d。

由图 1c 和图 1d 可以看出,土壤容重对紫色土的

入渗特性无论在入渗初期的非稳定阶段还是在稳定入渗阶段均有较大影响。随着容重的增加,紫色土入渗率及累积入渗量减小。紫色土容重由 1.20 g/cm^3 增加到 1.60 g/cm^3 时,紫色土初始入渗率由 282 mm/h 减小到 210 mm/h ; 60 min 累积入渗量由 98.6 mm 减小到 31.1 mm ; 紫色土容重分别为 1.20 、

1.36 、 1.50 和 1.60 g/cm^3 时,相应的稳定入渗率为 20.6 、 12.0 、 9.6 和 3.6 mm/h 。

2.3 土壤初始含水率对紫色土入渗特性的影响

在容重 1.36 g/cm^3 、积水深度 6 cm 条件下,不同初始含水率的紫色土入渗率及累积入渗量随入渗时间的变化关系见图 1e 和图 1f。

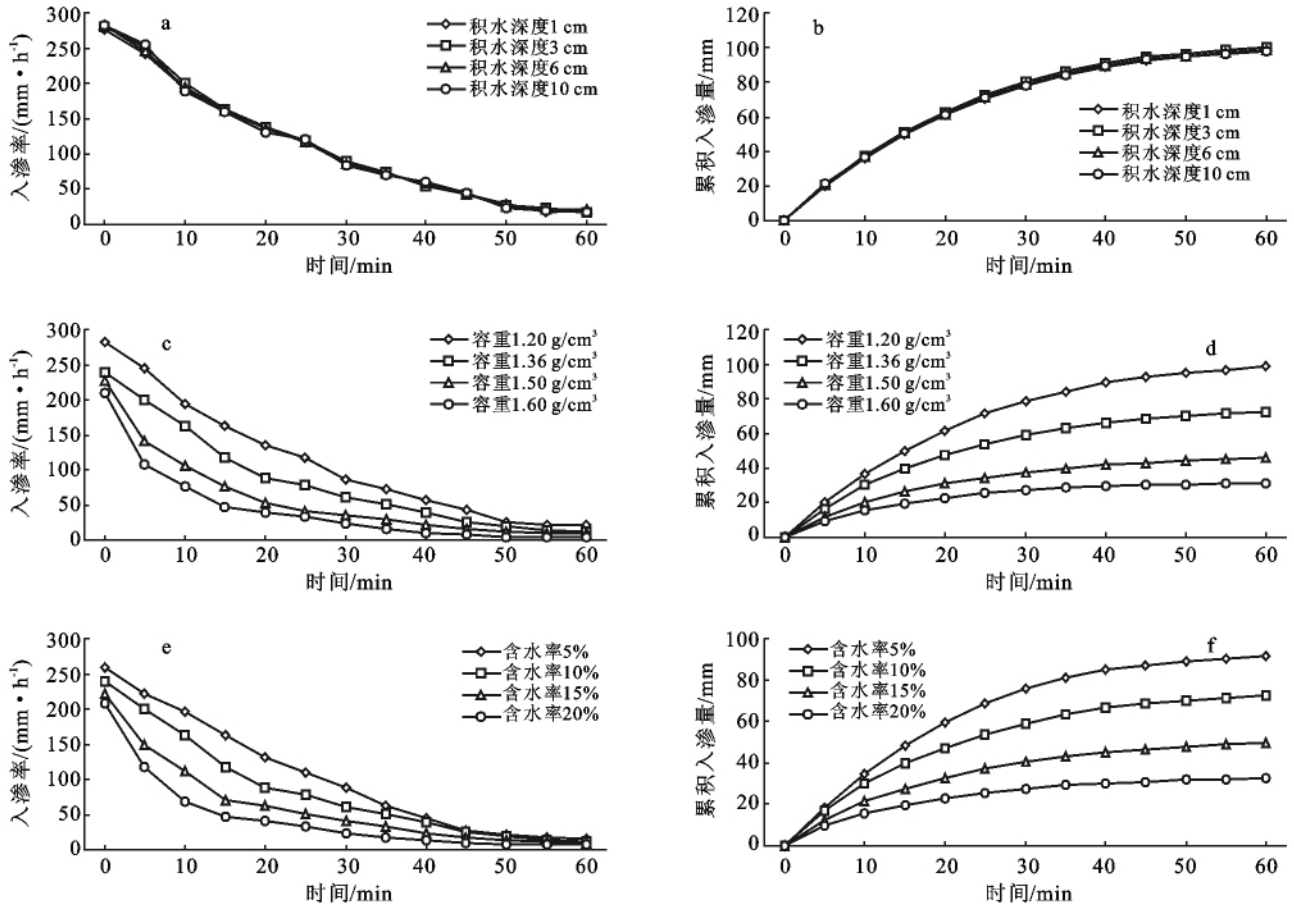


图 1 连续供水条件下入渗率和累积入渗量随入渗时间的变化

从图 1e 和图 1f 中可以看出,随着紫色土初始含水率的增大,初始入渗率变小,累积入渗量变小,入渗衰减加快,趋于稳定入渗率的时间变短,但稳定入渗率变化很小。初始含水率分别为 5% 、 10% 、 15% 和 20% 时,相应的初始入渗率为 258 、 240 、 222 和 207 mm/h ; 相应的 60 min 累积入渗量为 91.7 、 72.4 、 49.6 和 31.7 mm 。

2.4 间歇供水周期对紫色土入渗特性的影响

在积水深度为 6 mm 、间歇供水周期为 20 min 和 40 min 、循环率为 0.5 条件下,紫色土入渗率及入渗量随净入渗时间(即不计停水时间)的变化关系见图 2a 和图 2b。

从图 2a 和图 2b 中可以看出,相同循环率条件下,供水周期对紫色土入渗特性有较大的影响。在同一净入渗时间,间歇供水周期为 40 min 的累积入渗

量及入渗率大于周期为 20 min 的等入渗率及累积入渗量,且均小于同等条件下的连续入渗的入渗率及累积入渗量。在同等循环率条件下,间歇供水周期越长,则入渗率及累积入渗量越大。

2.5 间歇供水循环率对紫色土入渗特性的影响

在积水深度为 6 mm 、间歇供水周期为 20 min 条件下,间歇供水循环率分别为 0.5 和 0.25 时紫色土及入渗率累积入渗量随净入渗时间的变化关系见图 2c 和图 2d。

从图 2c 和图 2d 可以看出在间歇供水周期为 20 min 时,入渗率和累积入渗量的大小随着循环率的变化而不同。当间歇供水循环率从 0.5 降低到 0.25 时,相同净入渗时间的入渗率和累积入渗量也相应减小;当循环率为最大值 1 时,间歇供水变成了连续供水,其入渗率和累积入渗量的变化与连续供水一致。

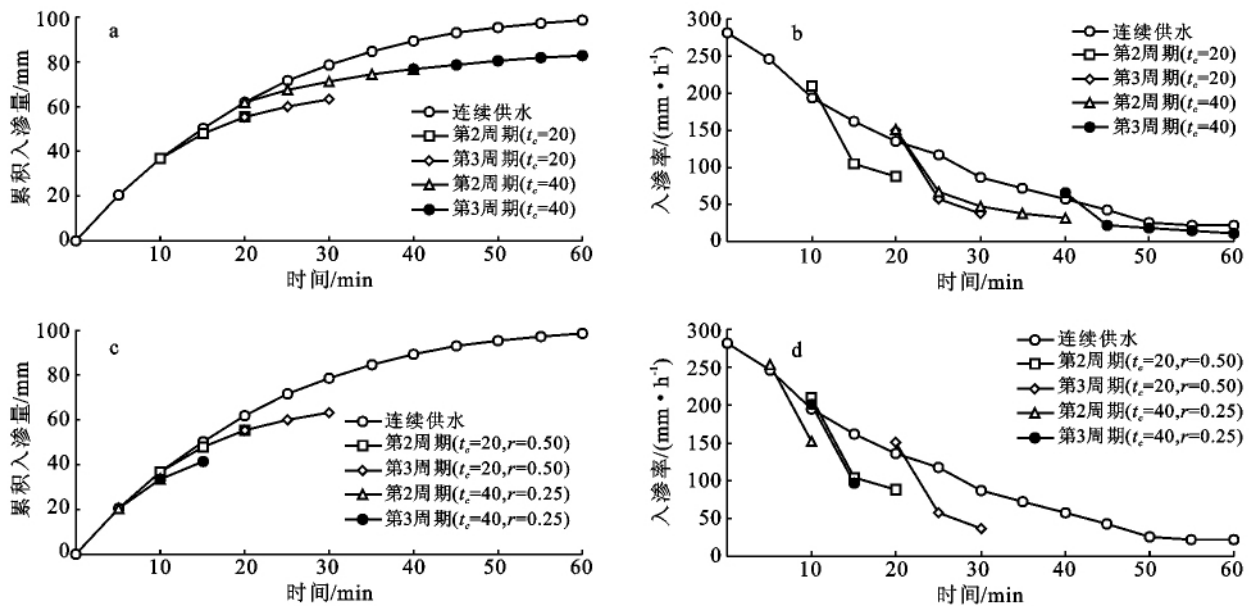


图 2 间歇供水条件下入渗率和累积入渗量随入渗时间的变化

注: t_c 为间歇供水周期; r 为间歇供水循环率。

2.6 间歇与连续供水对紫色土入渗特性的影响

在相同积水深度 6 cm 下,连续供水(容重为 1.20 g/cm^3 ,初始含水率为 10%)和间歇供水(容重为 1.20 g/cm^3 ,初始含水率为 10%,间歇供水周期为 20 min,循环率为 0.5)累积入渗量随入渗时间的变化关系的对比结果见图 3。

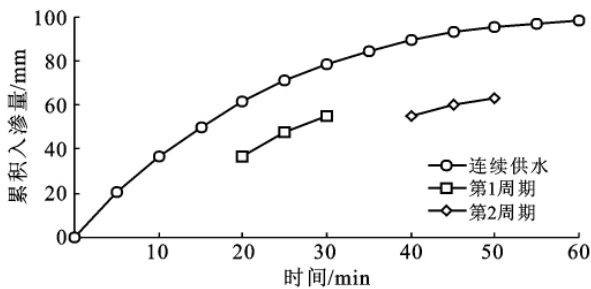


图 3 连续供水和间歇供水下累积入渗量对比

由图 3 可以看出,第 1 周期的间歇供水入渗过程与连续供水入渗过程一致。从第 2 周期开始,经过一段时间的停水后再次供水时,土壤的累积入渗量及入渗率明显较同条件下的连续供水的累积入渗量及入渗率小。

3 结论

采用土柱模拟实验的方法,针对紫色土中的黏壤土进行了不同积水深度下连续供水和相同积水深度下间歇供水实验,研究了紫色土一维垂向入渗特性以及土壤容重和初始含水率对入渗特性的影响,得出的结论如下。

(1) 积水深度在 1~10 cm 时,积水深度对于紫色

土的入渗特性基本上没有影响,稳定入渗率约 20 mm/h 。

(2) 相同积水深度下,连续供水时土壤容重对于紫色土入渗特性影响较大。随着容重的增加,紫色土入渗率及累积入渗量减小。相同积水深度下,连续供水时初始含水率对于紫色土入渗性能的影响也较大,随着土壤初始含水率的增大,初始入渗率和累积入渗量减小,入渗衰减速度加快,达到稳定入渗率的时间缩短,但最终的稳定入渗率变化很小。

(3) 紫色土间歇供水下的入渗特性与间歇供水周期及循环率密切相关。循环率不变,周期越长,相同净入渗时间的入渗率及累积入渗量越大;周期不变,循环率越大,相同净入渗时间的入渗率及累积入渗量越大。

(4) 相同积水深度下,间歇供水的紫色土入渗特性不同于连续供水,入渗特性更为复杂。间歇供水下紫色土入渗曲线为间断的非连续曲线,第 1 周期的入渗特性与连续供水的入渗特性相同。从第 2 周期开始,相同净入渗时间的间歇供水的累积入渗量及入渗率均比同条件的连续供水小。

[参 考 文 献]

- [1] 章俊霞,李小军,左长青. 南方红壤入渗影响因素研究[J]. 中国水土保持,2008(6):27-29.
- [2] 王玉杰,王云琦. 重庆缙云山典型林分林地土壤入渗特性研究[J]. 水土保持研究,2006,13(2):193-194.
- [3] 夏江宝,杨吉华,李红云,等. 不同外界条件下土壤入渗性能的研究[J]. 水土保持研究,2004,11(2):115-117.

(下转第 22 页)

(3) 拉伸速率 10 mm/min, 直径径级水平为 2 mm 下, 随着根长的增加, 4 种乔木极限应量变明显下降, 而极限应力略有下降, 说明极限延伸率、抗拉强度均与根长成负相关。随着根长的增加, 落叶松的弹性模量表现为下降的趋势, 而其余 3 种乔木的弹性模量均表现出上升的趋势。

(4) 根长为 100 mm, 直径径级水平为 2 mm 下, 白桦和落叶松的根系在拉伸速率 10 mm/min 时大多是弹性断裂, 但在 400 mm/min 拉伸速率下大多为脆性断裂, 断口平滑, 且断裂处颈缩不明显。且 400 mm/min 下根系拉伸破坏比 10 mm/min 更快, 说明速率的增加使得根系更容易被拉断破坏^[5]。2 种乔木的弹性模量均随着拉伸速率的增加而减小, 极限应变(极限延伸率)随着拉伸速率的增加而增加, 极限应力(抗拉强度)却随着拉伸速率的增加而略有减小。

[参 考 文 献]

- [1] 刘建军. 林木根系生态研究综述[J]. 西北林学院学报, 1998, 13(3): 74-78.
- [2] 谢春华, 关文彬, 张东升, 等. 长江上游暗针叶林生态系统主要树种的根系结构与土体稳定性研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 76-79.
- [3] 程洪, 张新全. 草本植物根系网固土原理的力学试验探究[J]. 水土保持通报, 2002, 22(5): 20-23.
- [4] Bischetti G B, Chiaradia E A, Simonato T, et al. Root streng and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy) [J]. Plant and Soil, 2005, 278: 11-22.
- [5] 杨永红, 刘淑珍, 王成华, 等. 浅层滑坡生物治理中的乔木根系抗拉实验研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 138-140.
- [6] 陈丽华, 余新晓, 刘秀萍, 等. 林木根系本构关系[J]. 山地学报, 2007, 25(2): 224-228.
- [7] 刘秀萍, 陈丽华, 宋维峰, 等. 油松根系抗拉应力: 应变全曲线试验研究[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(2): 66-70.
- [8] 程建峰, 潘晓云, 刘宜柏. 作物根系研究法最新进展[J]. 江西农业学报, 1999, 11(4): 55-59.
- [9] 朱清科, 陈丽华, 张东升, 等. 贡嘎山森林生态系统根系固土力学机制研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 64-67.
- [10] 朱海丽, 胡夏嵩, 毛小青, 等. 青藏高原黄土区护坡灌木植物根系力学特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(S2): 3445-3452.
- [11] Genet M, Stokes A, Salin F, et al. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots [J]. Plant Soil, 2005, 278: 1-9.
- [12] Commandeur P R, Pyles M R. Modulus of elasticity and tensile strength of Douglas fir roots[J]. Can. J. For. Res., 1991, 21: 48-52.
- [11] Nadler A, Perfect E, Kay B D K, et al. Effect of two polymers and water qualities on dry cohesive strength of three soil[J]. Soil Sci. 1996, 60(2): 556-561.
- [12] Sojka R E, lentz R D, Ross C W, et al. Polyacrylamide effects on infiltration in irrigated agriculture[J]. Soil Water Cons., 1999, 53(4): 325-331.
- [13] 张振华, 谢恒星, 刘继龙, 等. 气相阻力与土壤容重对一维垂直入渗影响的定量分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 36-39.
- [14] Baunhards R L. Modeling infiltration into sealing soil [J]. Water Resource Res., 1990, 26(1): 2497-2505.
- [15] 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.
- [16] 李卓, 吴普特, 冯浩, 等. 容重对土壤水分入渗能力影响模拟实验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 40-45.
- [17] Helalia A M. The relation between soil infiltration and effective porosity in different soil [J]. Agricultural Water Management, 1993, 24(5): 39-47.

(上接第 10 页)

- [4] 徐敬华, 王国梁, 陈云明, 等. 黄土丘陵区退耕地土壤水分入渗特征及影响因素[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(2): 19-25.
- [5] 纳磊, 张建军, 朱金兆, 等. 晋西黄土区不同土地利用类型坡面土壤饱和导水率研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 69-73.
- [6] 程冬兵, 李朝霞, 蔡崇法, 等. 等高绿篱系统土壤水分入渗特性研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3): 221-226.
- [7] 陈建刚, 李启军, 侯旭峰, 等. 妫水河流域不同植被覆盖条件下土壤入渗及模型比较分析[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(3): 22-26.
- [8] 戴长雷, 孙思淼, 叶勇, 等. 高寒区土壤包气带融雪入渗特征及其影响因素分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 269-272.
- [9] 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.
- [10] 陈洪松, 邵明安, 王克林, 等. 土壤初始含水率对坡面降雨入渗及土壤水分再分布的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 44-47.