

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2011.01.004

森林植被对红壤坡地土壤水的影响

张志才, 陈 喜, 魏玲娜, 薛显武, 秦年秀, 程勤波

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要 选取中国科学院桃源农业生态试验站内典型红壤坡地, 利用 TDR 连续测定了林地与裸地的土壤含水率, 分析森林植被对红壤坡地土壤水的影响。结果表明, 相同条件下, 森林植被影响下的坡地土壤含水率比裸地高, 土壤干湿变化频率较裸地慢。由于森林植被冠层以及枯落物的遮蔽作用, 林地内土壤蒸发强度较小, 土壤含水率变化幅度较小。受冠层覆盖及植被根系影响, 随着树干距离的增加, 土壤含水率呈减少趋势。

关键词 红壤坡地; 森林植被; 土壤水; 枯落物; TDR

中图分类号 S152.7⁺5 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2011)01-0015-05

Effect of forest vegetation on soil moisture in sloping land with red soil

ZHANG Zhi-cai, CHEN Xi, WEI Ling-na, XUE Xian-wu, QIN Nian-xiu, CHENG Qin-bo

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Selecting the typical sloping land of red soil in Taoyuan station of agro-ecology research of Chinese Academy of Sciences, the soil moisture contents were measured by TDR in forest and bare soil and the effects of forest on soil water were analyzed. The results showed that soil moisture content under vegetation canopy was greater than that in the bare sites, and the change frequency of drying and wetting cycles of soil moisture contents was slower than that in the bare sites. Because of the shading of wood leaf layers and litter fall, soil evaporation and the range of soil moisture contents changing were small under forest canopy. Due to the effect of the forest canopy and roots, soil moisture content had a decrease tendency with the increasing distance from tree trunk.

Key words: sloping land of red soil; forest vegetation; soil water; litter fall; TDR

土壤水不仅是水文过程、土壤侵蚀过程、植物生长和恢复的主要影响因子, 而且是土壤系统物质循环的载体, 也是区域小气候的重要影响因素^[1-5]。森林土壤水分是森林植被赖以生存的水分来源, 对森林水文循环以及生态环境起着重要作用。同时, 森林植被通过影响流域降雨调蓄、蒸散发、产汇流等水文过程以及土壤特性, 进而影响土壤水分的赋存与运移^[6-7]。

红壤区丘岗地带红壤坡地(坡度 6~15°)是我国长江中下游地区主要的土地资源之一, 区域水热资源丰富, 生物生产潜力巨大。红壤区坡地森林是该

地区坡地覆被的主要类型之一, 对该地区水文循环及生态环境起着重要作用。土壤水是反映森林植被保持水土和涵养水源功能的重要水文参数。研究坡地森林土壤水分布规律以及森林植被对土壤水的影响对湘北丘岗区水土流失防止、土壤侵蚀以及水源涵蓄具有重要的意义^[8-11]。

研究区位于设在湖南省桃源县漳江镇宝洞峪村的中国科学院桃源农业生态试验站内, 该站地处武陵山区向洞庭湖平原过渡的丘岗地带, 属典型低丘红壤分布区。年均降雨量 1 440 mm、年均气温 16.5℃, 水热资源丰富, 降雨年际、年内分配不均,

基金项目 教育部科学技术研究重大项目(308012); 中央高校基本科研业务费专项基金(2009B07014); 江苏省普通高校研究生科研创新计划 CX08B-106Z)

作者简介 张志才(1980—), 男, 河北邯郸人, 博士研究生, 研究方向为水文循环。E-mail: zhangzhicai_0@hhu.edu.cn

夏、秋季旱情突出,土壤为第四纪红土发育的红壤和红壤性水稻土。根据红壤丘陵区现有土地利用方式,在坡地上建有湿地松、甜柿园、茶园、农作区、恢复区和退化区等实验小区。

笔者选取了实验站内针叶林坡地和与之相邻的油茶坡地(油茶种植稀疏,选取其中无植被覆盖的土壤裸露区域),针叶林坡地土壤为粉砂质黏土,黏粒(粒径 $<0.002\text{mm}$)含量 47.0% ,粉粒($0.002\sim 0.02\text{mm}$)含量 39.3% ,油茶坡地土壤为粉砂质黏壤土,黏粒(粒径 $<0.002\text{mm}$)含量 43.4% ,粉粒($0.002\sim 0.02\text{mm}$)含量 38.5% 。利用 TDR(time domain reflectometry)测定林地内与裸露土地的土壤含水率,分析土壤含水率的时空变化规律及其受森林植被的影响。

1 测点布置及土壤水分测定

针叶林坡地和油茶坡地为东西并排,坡向 165° ,坡度 $8\sim 11^\circ$ 的两块坡地,投影面积均为 $20\text{m}\times 50\text{m}$,海拔 $101\sim 117\text{m}$,土壤为红壤。针叶林坡地内种植马尾松成林($3\text{m}\times 3\text{m}$),树高 $2.5\sim 8\text{m}$,表层有 $2\sim 3\text{cm}$ 枯枝落叶;油茶坡地内种植油茶幼林($3\text{m}\times 3\text{m}$), $1\sim 2\text{m}$ 高,表层主要为裸土或有零星分布的低矮蕨类。利用美国 SEC 公司生产的 Minitrase 土壤水自动观测仪(具有 64 通道,可同时观测 61 个测点土壤含水率),通过在针叶林地设置 21 个观测点,在油茶幼林坡地树木间的土壤裸露区设置 18 个观测点进行土壤含水率连续观测(图 1),分析森林植被对土壤水的影响。观测时间为 2009 年 4 月 25 日 16:00—30 日 22:00,共有 51 个观测时间点(表 1),观测前期 4 月 24 日发生 1 场 11.4mm 降雨。采用 Kestrel 4500 手持移动气象站观测坡地内气温、相对湿度等气象资料,数值见表 1。

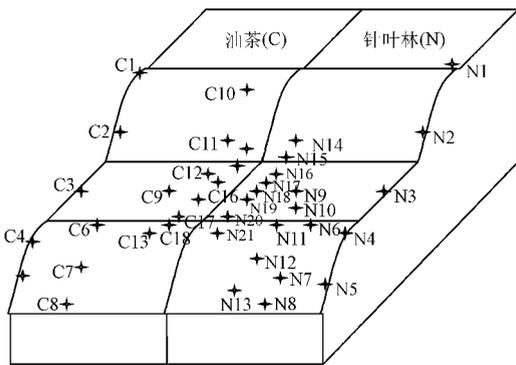


图 1 土壤含水率观测点布置

2 森林植被对土壤水时空分布的影响

2.1 土壤含水率分布特征

植被通过截留、蒸腾以及根系汲水作用影响土壤水动态过程,改变土壤的透水及持水性能^[12-13],

表 1 研究期气象条件

日期	观测时间	降雨量/ mm	平均气温/ $^\circ\text{C}$		相对湿度/ $\%$	
			针叶林	油茶裸地	针叶林	油茶裸地
04-25	16:00, 17:00, 20:00	0	22.9	23.2	46.0	45.7
	10:00, 11:00, 12:00, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 18:00, 19:00, 20:00					
04-26	16:00, 17:00, 18:00, 19:00, 20:00	0	23.1	24.4	51.1	50.3
	9:00, 11:00, 13:00, 15:00					
04-27	9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 18:00, 19:00, 20:00, 21:00, 22:00	1.6	17.6	18.0	84.8	81.0
	9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 18:00, 19:00, 20:00, 21:00, 22:00					
04-28	9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00	1.0	17.4	17.8	85.2	83.1
	9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 18:00, 19:00, 20:00, 21:00, 22:00					
04-29	9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00	0.2	20.1	21.0	60.3	58.5
	15:00, 16:00, 17:00, 18:00, 19:00, 20:00, 21:00, 22:00					

同时植被改变覆盖区小气候,林地覆盖降低地表气温、减少日照、增大相对湿度(表 1),减少表层土壤蒸发。

本研究选取针叶林地与油茶幼林裸地,观测地表以下 20cm 土层的土壤含水率,分析植被对土壤水分变化的影响。图 2 为 2009 年 4 月 28 日 19:00(雨前)和 2009 年 4 月 30 日 8:00(小雨后)的土壤水空间分布,雨前与雨后针叶林内平均土壤含水率明显大于油茶裸地土壤含水率。选取设在针叶林与裸地内的 8 个测点(图 1 中 N1~N8 与 C1~C8),针叶林测点 N1~N8 与油茶裸地测点 C1~C8 在相同坡面上——对应,对应的测点具有相同高程、坡向和坡度。通过对比 8 组测点土壤含水率观测值,监测期内针叶林测点平均土壤含水率(28.9%)比对应裸地测点平均含水率(24.4%)高 18.4% ,其中最高相差 71.8% (图 3)。雨前(2009 年 4 月 28 日 19 时)针叶林测点平均土壤含水率(28.7%)比对应裸地测点平均含水率(23.9%)高 20% ,经过一场较小降雨(2.8mm)后,裸地土壤含水率有增加趋势,而林地由于植被对降雨的截留作用(平均截留量 1.7mm),土壤水受降雨补给作用较小,另一方面由于继续受植被蒸散发消耗,土壤含水率无明显上升趋势,针叶林测点平均土壤含水率(28.7%)比对应裸地测点平均含水率(24.3%)高 18.1% 。

对比针叶林与裸地对应测点土壤含水率变异系数,结果显示林地大都低于裸地(图 4),说明裸地上层土壤干湿变化幅度大于林地。受遮蔽作用的影响,林木对上层土壤具有较好的保水作用,能减少土壤干湿变化,对防止土壤板结、侵蚀具有较大作用。

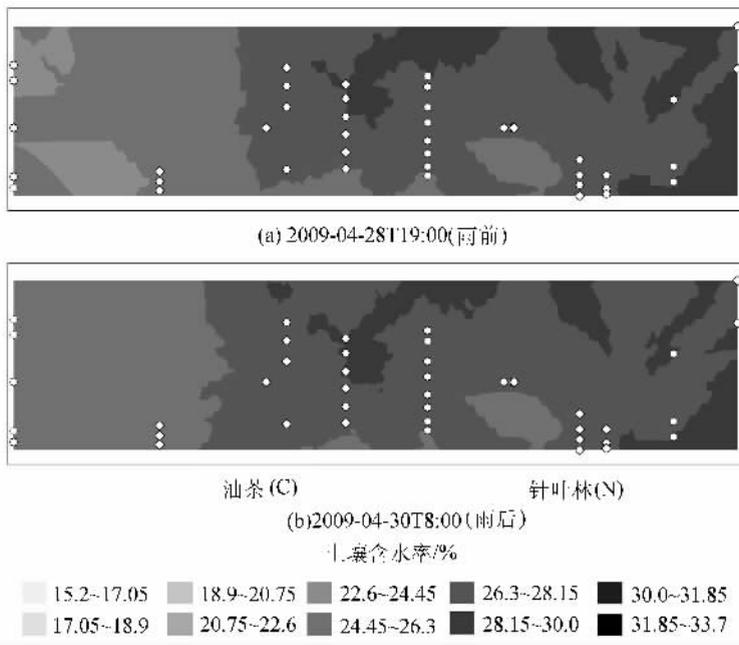


图2 土壤含水率空间分布

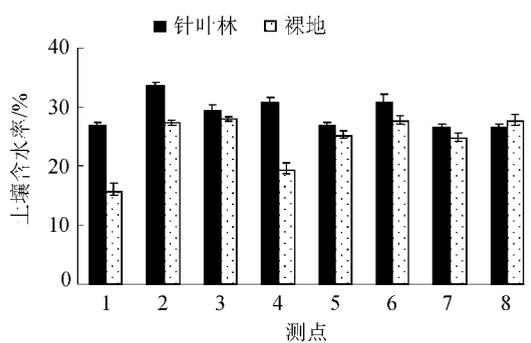


图3 针叶林与油茶幼林裸地土壤含水率

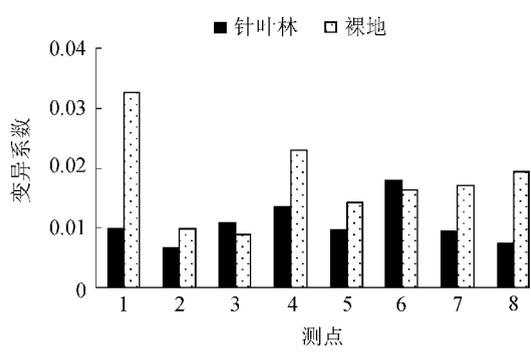


图4 针叶林与油茶幼林裸地土壤含水率变异系数

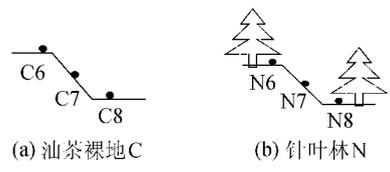


图5 测点示意图

2.2 土壤水动态变化分析

蒸散发是影响土壤水的主要因素。由于林地与裸地蒸散发方式及过程存在较大差异,其土壤含水率动态变化也存在差异。为此,选取3组布置于针叶林内与油茶坡地内的对应测点(N6~N8与C6~C8)观测无雨期(25日16:00—28日19:00共28个观测时段)土壤含水率变化(图6),通过分析土壤含水率动态变化差异,进而分析林地与裸地蒸散发特征。为消除林地与裸地土壤含水率绝对值差异的影响,将土壤含水率进行标准化处理:

$$\bar{x}_i = x_i / \bar{x}$$

其中 \bar{x} 为数据序列 x_i 的均值, \bar{x}_i 为标准化结果。

受蒸散发特征的影响,林地与裸地土壤含水率,在无雨期前段与无雨期后段变化趋势存在差异。笔

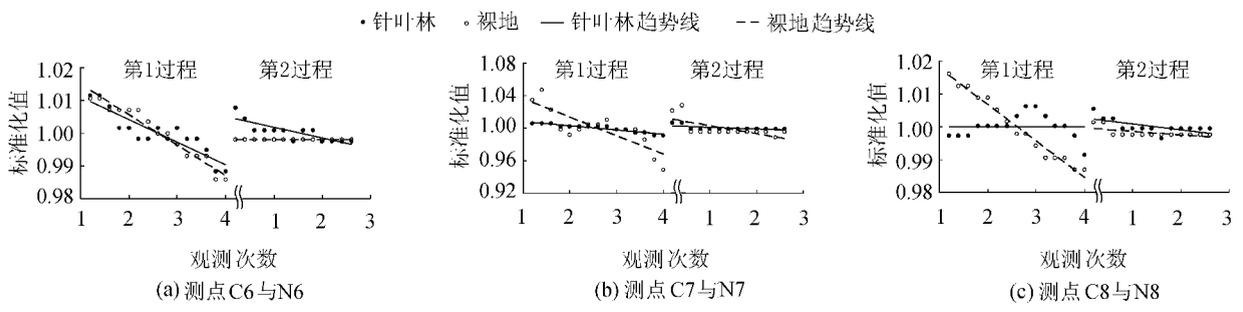


图6 土壤含水率标准化结果动态分析

者把无雨期分为前、后两段,分别为 25 日 16:00—27 日 11:00 和 27 日 12:00—28 日 19:00,第 1 个过程(前段)共 15 个观测时点,第 2 个过程(后段)为 13 个观测时点。

标准化结果表明(图 6),受气象条件差异的影响,观测期内土壤含水率衰减呈现 2 个过程。从湿润土壤状态开始蒸发消耗水分的第 1 个过程中,裸地土壤含水率衰减幅度明显大于林地,主要是由于裸地接受太阳光直接照射,地表温度较高,相对湿度较低,因此土壤水蒸发强烈。而林地受遮蔽作用影响,土壤蒸发较弱,进入无雨期第 2 个过程,台地上(N6 与 C6,N8 与 C8)林地土壤含水率减少趋势无明显变化,油茶裸地土壤含水率减少趋势明显减缓。坡面上(N7 与 C7),针叶林内和裸地土壤含水率均继续减少,减少趋势无明显变化,裸地减少趋势较林地大。

造成该差异的主要原因是:在台地上,土壤水主要受蒸散发影响,由于裸地前期土壤蒸发强烈,消耗水分主要来自上层,使得上层土壤含水率较低,上层土壤水已无法满足后期蒸发能力所需水分,因此后期土壤含水率虽有减少,但趋势减缓。针叶林受植被蒸散发影响,同时消耗土壤上层与下层水分,上层土壤水一般可满足无雨期蒸散发需水,因此前、后期土壤含水率减少趋势变化不大。在坡面上,探头垂直坡面插入土壤中(坡度约 32°),TDR 20 cm 测点深度实际上反映地表下沿垂向 23.6 cm 处的土壤水变化(台地上为 20 cm),可供土壤蒸发消耗的水量较多,可以满足较长时间的土壤蒸发耗水,因此蒸发前、后期林地与裸地土壤含水率衰减趋势均无明显变化。由于林地坡面上无树木种植,植被散发量较少,且受上部林冠遮蔽作用,土壤蒸发较小,因此针叶林内土壤含水率衰减速率较裸地小。

表 2 土壤含水率标准化数值衰减系数

测点	第 1 蒸发过程		第 2 蒸发过程	
	针叶林(N)	油茶裸地(C)	针叶林(N)	油茶裸地(C)
6	-0.0014	-0.0019	-0.0006	0
7	-0.0010	-0.0045	-0.0003	-0.0019
8	0	-0.0022	-0.0003	-0.0002

2.3 林木间隔对土壤水分布影响

林木遮蔽程度与根系发育特征对土壤水分布具有重要影响。该地区针叶林林木间隔为 3 m,笔者分别选取马尾松与油茶树,观测蒸发条件下(4 月 30 日)其周围土壤含水率分布,分析土壤水主要受蒸发影响时单棵树木周围土壤水分布特征。所选择的马尾松胸径为 9 cm,在距树干 20 cm、40 cm、60 cm、80 cm 与 100 cm 的左右两侧分别设置观测点观测土壤含

水率,各测点坡度及高程相近。所选油茶树胸径为 7 cm,左侧共设 12 个观测点,右侧 20 个,相互间距 10 cm,各测点坡度及高程相同,距油茶树右侧 210 cm 处有 1 棵胸径 3.2 cm 的较小油茶树。观测结果显示(图 7、8)随着测点距树干距离的增加,土壤含水率呈增加趋势;在两棵树之间,土壤水分布表现为中间大,两边小。靠近树干区域,根系发育相对较浅,土壤较为疏松,因此,土壤水蒸发相对较大,土壤含水率较小。

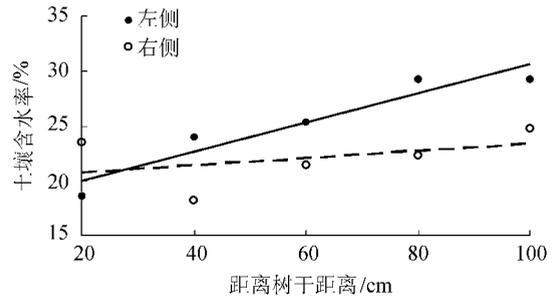


图 7 马尾松周围土壤含水率分布

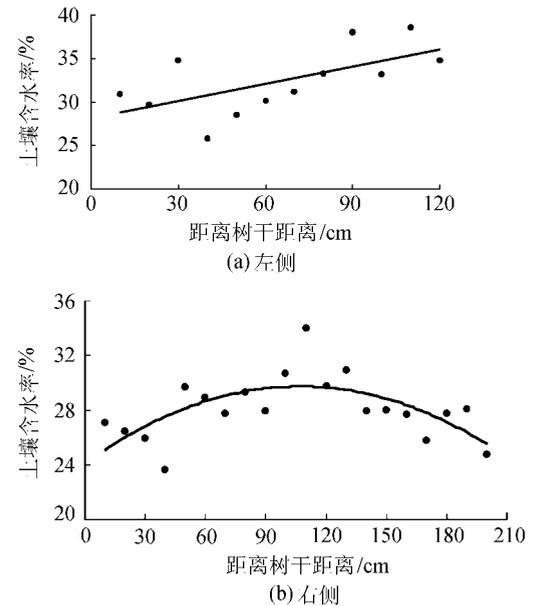


图 8 油茶树左、右侧土壤含水率分布

2.4 枯落物对土壤含水率动态变化的影响

枯枝落叶层作为森林水文作用的第 2 个功能层,在截持降雨、阻抑径流、减少土壤水分蒸发和土壤流失等方面具有重要作用^[14]。枯枝落叶对林地内土壤水分布的影响主要表现在截留林地内穿透雨,减少水分入渗强度,延长入渗时间。本文选取的针叶林坡地地表大都有 2~3 cm 的枯落物覆盖,根据采集的林下 1 m×1 m 样方中的枯枝落叶,计算马尾松林下枯落物的生物量为 0.435 t/hm²。通过室内实验分析,枯落物的最大持水率为 143.8%。选取了马尾松针叶林地内相邻两个坡面,其中一个坡面有枯落物覆盖,另一个无覆盖,其他因素(坡度、高

程相似。在每个坡面的中部和下部设置观测点观测土壤含水率变化(有枯落物坡面测点为 N7、N8,无枯落物坡面测点为 N12、N13)。为消除林地与裸地土壤含水率绝对值差异的影响,同样对土壤含水率进行标准化处理。结果显示,有枯落物覆盖处土壤含水率变化较缓和(图 9),原因是枯枝落叶使水分入渗过程变化平缓,加之遮蔽作用,减少了土壤水蒸发。说明枯枝落叶不仅起到了保水作用,也减小了土壤干湿变化的幅度,因此对防止土壤侵蚀也具有重要意义。

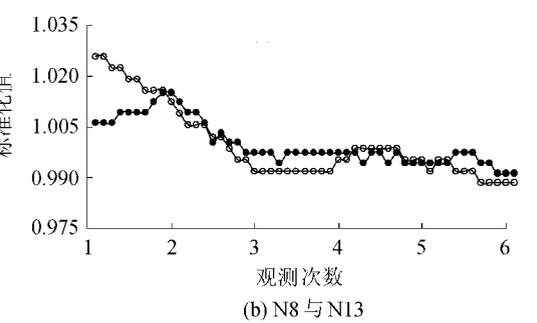
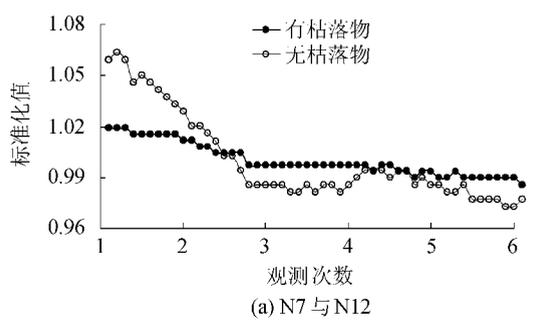


图 9 土壤含水率标准化结果动态变化过程

3 结论

- a. 相同条件下,森林植被影响下的坡地土壤含水率比裸地高,土壤干湿变化程度较裸地小,说明森林植被对上层土壤具有较好的保水作用。
- b. 裸地与林地蒸散发特征存在较大差异,裸地主要以土壤蒸发为主,消耗上层土壤水,林地受植被蒸散发影响,同时消耗上层与下层土壤水。
- c. 森林植被根系发育、土壤质地疏松,持水能力较弱。在林地内,随着距树干距离的增加,根系发育程度减弱,土壤含水率呈增大趋势。
- d. 枯落物减少了土壤水蒸发以及降雨入渗,使其覆盖下的土壤含水率变化缓和,不仅起到了保水作用,同时也减小了土壤干湿变化的幅度,对防止土壤侵蚀具有重要意义。

红壤区坡地森林植被对土壤水时空变化有重要影响,本文就红壤区坡地森林植被对土壤水的影响

进行研究,对红壤丘岗区水土流失防止、土壤侵蚀以及水源涵蓄具有重要的意义。

参考文献:

- [1] BRONSTERT A. Capabilities and limitations of detailed hillslope hydrological modeling[J]. Hydrol Processes, 1999, 13: 21-48.
- [2] ENTEKHABI D, EAGLESON P S. Land surface hydrology parameterization for atmospheric general circulation models[J]. J Climate, 1989, 2: 816-831.
- [3] MILLY P C D, DUNNE K A. Global water cycle to the water modeling capacity of land[J]. J Climate, 1993, 7: 506-526.
- [4] RODRIGUEZ-ITURBE I. Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics[J]. Water Resour Res, 2000, 36: 3-9.
- [5] RODRIGUEZ-ITURBE I, PORPORATO A, LAIO F, et al. Plants in water-controlled ecosystems: active role in hydrological processes and response to water stress: I. scope and general outline[J]. Adv Water Res, 2001, 24: 695-705.
- [6] 李德生, 张萍, 张水龙, 等. 黄前库区森林土壤蓄水能力研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004, 28(1): 25-28.
- [7] 张保华, 何毓蓉, 周红艺, 等. 长江上游典型区亚高山不同林型土壤结构性与水分效应[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 127-129.
- [8] 王晓燕, 陈洪松, 王克林, 等. 红壤坡地土壤水分时间序列分析[J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 297-302.
- [9] 唐彬, 谢小立, 彭英湘, 等. 红壤丘岗坡地土地利用与土壤水分的时空变化关系[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(4): 8-13.
- [10] 谢小立, 王凯荣. 湘北红壤坡地土壤水分特征及其水分运移[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 104-111.
- [11] 谢小立, 王凯荣. 红壤坡地雨水产流及其土壤流失的垫面反应[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 37-40.
- [12] HAWLEY M E, JACKSON T J, McCUEN R H. Surface soil moisture variation on small agricultural watershed[J]. J Hydrol, 1983, 62: 179-200.
- [13] WESTERN W A, GRAYSON R B, BLOSCHL G, et al. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices[J]. Water Resour Res, 1999, 35: 797-810.
- [14] 吴钦孝, 刘向东. 山场次生林枯枝落叶蓄积量及其水文作用[J]. 水土保持学报, 1992, 6(1): 71-76.

(收稿日期: 2010-09-09 编辑: 高渭文)

