

广西猫儿山毛竹林不同层次土壤含水量的降雨响应

李海防¹, 史梅容², 王金叶¹, 赵连生³, 王绍能³, 赵 苡³

(1. 桂林理工大学 旅游学院, 广西 桂林 541004; 2. 南宁职业技术学院,
南宁 530008; 3. 猫儿山国家级自然保护区管理局, 广西 兴安 541316)

摘 要:以漓江上游猫儿山典型森林植被毛竹林(*Phyllostachys pubescens*)为研究对象,对其 0—20,20—50,50—80 cm 共 3 个层次的土壤体积含水量进行了定位监测,分析了各层次土壤含水量的降雨响应。结果表明:(1) 3 个层次土壤含水量差异显著($p < 0.01$),年均值分别为 39.49%,41.17%,44.15%,表层 0—20 cm 土壤含水量最少,20—50 cm 增加,50—80 cm 最高。降雨与 3 个层次土壤含水量都呈极显著相关性。(2) 从小雨到暴雨,土壤含水量对降雨的响应都可以分为平台期、上升期、峰值期和退水期;各层次土壤含水量对降雨的响应是比较复杂的。(3) 在上升期,表层 0—20 cm 土壤含水量增加最快;退水期,50—80 cm 土壤最快,这与前期土壤含水量及降雨强度有关系。该研究为揭示漓江上游森林植被对降水径流的调节作用,客观评估漓江上游水资源潜力,加强流域水资源管理和森林经营提供科学依据。

关键词:猫儿山; 毛竹林; 土壤含水量; 降雨响应

中图分类号:S152.7; S715.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)05-0120-04

Response of Soil Water Contents in Different Layers to Rainfall Under *Phyllostachys pubescens* Forest in Mao'ershan Mountain, Guangxi

LI Haifang¹, SHI Meirong², WANG Jinye¹, ZHAO Liansheng³, WANG Shaoneng³, ZHAO Yi³

(1. School of Tourism, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004,
China; 2. Nanning College for Vocational Technology, Nanning, Guangxi 530008, China;
3. Mao'ershan Mountain National Nature Reserve Administration, Xing'an, Guangxi 541316, China)

Abstract: Changes of soil water content in different layers, including 0—20 cm, 20—50 cm and 50—80 cm under *Phyllostachys pubescens* forest were investigated in Mao'ershan Mountain in upper reaches of Lijiang River. The results showed that: (1) there were significant differences for soil water contents in three layers ($p < 0.01$) and annual average values were 39.49%, 41.17% and 44.15%, respectively, soil water content in 0—20 cm was the lowest, and increased in other two layers, significant relationships between precipitation and soil water content in three soil layers were also found; (2) soil water content changed synchronously with rainfall and there were always platform stage, rising stage, peak value stage and decreasing stage in the process, response of soil water content to rainfall was comparatively complicated; (3) at the rising stage, soil water content in 0—20 cm layer increased at the fastest rate and soil water in 50—80 cm layer declined quickly at decreasing stage which was related with initial soil water content and intensity of rainfall. This study would provide scientific basis for better understanding of the relationships between forest vegetation and its hydrological effects, helping to facilitate water resources and achieving wise forest management in upper reaches of Lijiang River.

Keywords: Mao'ershan Mountain; *Phyllostachys pubescens*; soil water content; response to rainfall

土壤水分是维持陆地森林生态系统的关键,是影响流域产流和地区水文循环的重要因素^[1]。土壤含水量由于降雨、植被、地形和土壤物理性质等因素的影响,在空间和时间尺度上不断变化,进而影响整个

森林的降雨产流过程^[2]。土壤含水量的变化首先受降雨过程的影响,表层土壤含水量迅速增加,在蒸散和下渗作用下表层土壤含水量逐渐减小^[3]。在深层次土壤,由于植被根系、蒸腾作用和土壤性质的变化,

收稿日期:2015-10-02

修回日期:2015-11-15

资助项目:国家自然科学基金(41261006,30860058);广西猫儿山国家级自然保护区漓江源森林群结构与水源涵养监测项目;广西猫儿山国家级自然保护区典型森林生态系统服务功能评估项目

第一作者:李海防(1974—),男,山东莱阳人,博士后,教授,硕士生导师,主要从事景观生态学教学与科研工作。E-mail:373156070@qq.com

通信作者:王金叶(1965—),男,甘肃民乐人,教授,博士生导师,主要从事森林生态水文和生态旅游研究。E-mail:wangjy66@sohu.com

土壤含水量对降雨的响应也发生变化^[4]。探究不同降雨条件下森林植被土壤含水量动态及其空间异质性,对深入了解森林系统与土壤产流、地表径流和河川径流的关系具有重要的作用,同时,对指导林业经营和人工林的生态管理具有重要的意义^[5]。

猫儿山位于桂林东北,是漓江重要的发源地。近十几年来,漓江“缺水”问题日渐突出,给当地山水旅游业带来严重影响。前期研究表明,漓江上游毛竹林(*Phyllostachys pubescens*)水源涵养功能低,生态效益差,但毛竹林是当地居民重要的经济林型,且面积有逐步扩张的趋势^[6]。因而,本研究以猫儿山林区典型毛竹林为研究对象,了解不同降雨条件下毛竹林土壤含水量动态及其空间变化,对提高漓江上游森林水源涵养功能,保护漓江流域山水景观,促进桂林山水旅游的可持续发展,具有重要的理论和实践意义^[6]。

1 试验材料与方法

1.1 研究地点

猫儿山位于广西东北部,东经 110°20′—110°35′,北纬 25°48′—25°58′,总面积为 1.7 万 hm²。属中亚热带山地气候,年降水量在 2 100 mm 以上,年平均气温 12.8℃。流域降雨量年内分配极不均匀,每年 3—8 月的丰水期,雨量约占全年的 76%,9 月至翌年 2 月的枯水期,降雨量仅占全年的 24%。森林覆盖率达 96.5%,植被类型多样,垂直分带明显,从山脚到山顶,依次出现竹林、常绿阔叶林、常绿针阔叶人工林、常绿落叶阔叶混交林、常绿针阔叶混交林、高山矮林和山顶灌草丛等类型^[7]。其中,海拔 1 000 m 左右地势平缓,土壤深厚,植被典型。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 本研究在对林区植被全面调查的

基础上,选择有代表性毛竹林(*Phyllostachys pubescens*)为试验研究对象,设置一个 10 m×20 m 水量平衡场,同步比较不同层次土壤含水量。毛竹林地处海拔 680 m,郁闭度为 0.90,密度 2 250 株/hm²,平均树高 10 m,平均胸径 8.3 cm,林地面坡度为 35°,坡向西南方向。土壤为山地红壤,厚度约 80 cm,可分为 A(0—20 cm)、B(20—50 cm)、C(50—80 cm)3 个层次的土壤,最大田间持水量分别为 61.87%,48.20%,45.31%。

1.2.2 降雨和不同层次土壤含水量同步监测 在研究区山脊空旷地设置自记式雨量计(JL-21),观测次降雨过程,记录降雨量(mm)、降雨历时、平均降雨强度等指标。以 24 h 降雨量计,将降雨分为小雨(0~10 mm),中雨(10~25 mm),大雨(25~50 mm)和暴雨(50~100 mm)。土壤水分动态监测则是在毛竹林选择典型土壤剖面,利用森林土壤水分自动观测系统(SMR101A-5, MadgeTech, 美国)同步定位测定林下 0—20 cm, 20—50 cm, 50—80 cm 共 3 个层次土壤的土壤温度和土壤体积含水量。每个林型各层次土壤都设置两个探头,所有数据采集时间间隔为 5 min,全年数据自动采集,不定期下载^[5-6]。

1.2.3 2013 年 9 月—2014 年 8 月降雨特征变化 2013 年 9 月—2014 年 8 月降雨特征见表 1,在观测期内,共观测到 181 d 降雨,降雨总量达 1 624.08 mm;月降雨量年内分布悬殊,月平均值为 135.34 mm,变异系数为 0.913。2013 年 9 月—2014 年 2 月为旱季,降雨量占全年降雨量的 33.70%。2014 年 3—8 月为雨季,降雨量占全年降雨量的 66.30%,其中,3—5 月份降雨量最多,占全年降雨量的 56.21%。就单月降雨而言,4 月份降雨量最高,月总降雨量达到 428.24 mm,占年总降雨量的 26.37%,日平均降雨为 15.86 mm,变幅为 0.25~114.30 mm。

表 1 猫儿山 2013 年 9 月—2014 年 8 月降雨分布特征

时间	月降雨量		日降雨量		降雨天数		降雨等级天数			
	月降	占年降雨量的	平均值/	变幅/	降雨	占总降雨日	小雨/	中雨/	大雨/	暴雨/
	雨量/mm	比例/%	mm	mm	天数/d	数的比例/%	d	d	d	d
2013-09	53.09	3.27	7.58	0.25~22.10	7	3.87	5	2	0	0
2013-10	21.59	1.33	3.08	0.25~8.89	7	3.87	7	0	0	0
2013-11	147.83	9.10	13.44	0.25~82.04	11	6.08	7	3	0	1
2013-12	89.66	5.52	17.93	1.02~44.70	5	2.76	2	1	2	0
2014-01	41.15	2.53	5.14	0.25~10.67	8	4.42	6	2	0	0
2014-02	194.06	11.95	10.21	0.25~52.07	19	10.50	11	7	0	1
2014-03	219.20	13.50	7.83	0.25~33.53	28	15.47	21	5	2	0
2014-04	428.24	26.37	15.86	0.25~114.30	27	14.92	17	5	3	1
2014-05	265.43	16.34	10.21	0.25~68.07	26	14.36	20	3	2	1
2014-06	20.83	1.28	1.16	0.25~7.62	18	9.94	18	0	0	0
2014-07	108.46	6.68	8.34	0.25~29.46	13	7.18	10	2	1	0
2014-08	34.54	2.13	2.88	0.25~8.89	12	6.63	12	0	0	0

1.2.4 数据处理 采用统计分析软件 SPSS 15.0 进行相关和回归分析。采用最小显著差异法(LSD)比较各层次土壤含水量之间的差异。采用 Pearson 相关系数检验降雨与土壤含水量之间的相关性。

3 结果与分析

3.1 各层次土壤含水量差异及与降雨相关性

结果表明,降雨后 0—20 cm,20—50 cm,50—80 cm 土壤含水量变化很有规律性(表 2)。3 个层次土壤土壤含水量差异显著($p<0.01$),年均值分别为:39.49%,41.17%,44.15%,表层 0—20 cm 土壤含水量最少,20—50 cm 增加,50—80 cm 最高。表层土壤含水量较低,这是由于毛竹林为经济林,地表植被覆

盖很少,土壤与其他林型相比较为紧密,土壤水分下渗速度较慢的缘故^[6];同时毛竹林地表凋落物较少,降雨时表层土壤更容易受到雨滴冲击,容易形成地表径流,进而减小土壤水分下渗速度^[8]。而 60—80 cm 土壤含水量最高,这与侧向入渗的地下水补给有关。同时,这也说明土壤含水量由于降雨、林冠层、根系结构、蒸腾作用和土壤性质等多种因素的影响,其垂动态变化是很复杂的。分析降雨与各层次土壤含水量的相关性,可以看出(表 3),降雨与 3 个层次土壤含水量都呈极显著相关性,从地表到深层,相关性依次减弱。这是由于表层土壤含水量更容易受到大气降雨的影响,当地表土壤水分饱和和后,随着降雨的持续,表层土壤水才向下层土壤入渗^[9]。

表 2 降雨量和各层次土壤含水量月变化 %

土壤层次	土壤含水量											
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月
0—20 cm	38.26C (0.0048)	38.46C (0.0045)	39.84AB (0.0147)	40.62C (0.0036)	40.47C (0.0032)	38.88C (0.0124)	38.01C (0.0032)	38.75C (0.0068)	40.46C (0.0477)	40.20C (0.0052)	39.71C (0.0061)	39.17C (0.0034)
20—50 cm	40.91B (0.0065)	39.04B (0.0063)	39.62B (0.0159)	40.91B (0.0041)	40.65B (0.0033)	40.54B (0.0050)	40.86B (0.0025)	42.74B (0.0135)	42.78B (0.0269)	42.20B (0.0066)	42.06B (0.0056)	41.01B (0.0094)
50—80 cm	41.19A (0.0039)	41.39A (0.0191)	41.72A (0.0088)	41.89A (0.0062)	41.87A (0.0040)	42.22A (0.0086)	50.07A (0.0833)	48.49A (0.0759)	43.85A (0.0101)	45.35A (0.0054)	43.62A (0.0500)	42.91A (0.0030)

注:括号内数值为标准误。

表 3 降雨与各层次土壤含水量的相关性

项目	降雨量	土壤含水量		
		0—20 cm	20—50 cm	50—80 cm
降雨量	1.000			
0—20 cm	0.106**	1.000		
20—50 cm	0.082**	0.254**	1.000	
50—80 cm	0.016**	0.084**	0.096**	1.000

注:**表示 0.01 显著水平。

3.2 不同降雨条件下土壤含水量对降雨的响应

以时间为横坐标,以降雨量和土壤含水量为纵坐标,得到 0—20 cm,20—50 cm,50—80 cm 不同层次土壤含水量对小雨、中雨、大雨和暴雨的响应曲线(图 1)。小雨以 2014 年 8 月 10 日 4:46—8 月 13 日 10:21 为例,降雨前,0—20 cm,20—50 cm,50—80 cm 土壤初始含水量分别为 40.04%,41.68%和 45.12%。降雨历时 3 d,累计降雨量 3.05 mm。中雨以 2013 年 9 月 3 日 7:55—9 月 7 日 8:10 为例,降雨前,0—20 cm,20—50 cm,50—80 cm 土壤初始含水量分别为 37.95%,40.63%和 41.04%。降雨历时 4 d,累计降雨量 47.74 mm。大雨以 2013 年 12 月 14 日 4:45—12 月 17 日 19:05 为例,降雨前,0—20 cm,20—50 cm,50—80 cm 土壤初始含水量分别为 40.19%,40.52%和 41.30%。降雨历时 3 d,累计降雨量 89.67 mm。暴雨以 2014 年 5 月 3 日 19:33—5 月 4 日 15:13 为例,降雨前,0—20

cm,20—50 cm,50—80 cm 土壤初始含水量分别为 38.07%,43.03%和 43.38%。降雨历时 1 d,累计降雨量 76.20 mm。

对比 4 个降雨等级条件的土壤含水量的降雨响应,可以看出,从小雨到暴雨,土壤含水量对降雨的响应都可以分为平台期、上升期、峰值期和退水期(图 1)。且 0—20 cm 表层土壤由于受降雨和地表径流的影响,土壤含水量波动较大,随降雨出现波峰和波谷,而 20—50 cm 和 50—80 cm 土壤则波动较缓,受降雨的影响减少。从各层次土壤含水量对降雨响应的延迟时间上看,可见不同层次的土壤含水量对降雨的响应时间不同,20—50 cm 和 50—80 cm 的土壤含水率上升和下降过程均滞后于表层土壤,且涨落时间也均延长,这与土层深度及深层次土壤水分的再分布有关^[8]。与 0—20 cm 土壤含水量峰值相比,20—50 cm,50—80 cm 土壤含水量峰值出现的时间在小雨条件下分别延迟 5 min,120 min;中雨条件下分别延迟 10 min,50 min;大雨条件下分别延迟 25 min,320 min;暴雨条件下分别延迟 5 min,90 min。随着降雨等级加大,延迟时间没有什么明显的规律性,这主要与前期土壤含水量及降雨强度变化有关。

回归模拟 4 种降雨等级条件下土壤含水量上升期和退水期,结果见表 4。可见,在平台期,土壤迅速

吸收水分,含水率逐渐升高,形成一个平台,然后缓慢上升,进入上升期(图 1)。在上升期,当雨量在小雨和中雨条件下,土壤含水量变化曲线相对较缓,而大雨和暴雨条件下,上升期相对较快。由于直接受到降雨的影响,0—20 cm 表层土壤上升最快,50—80 cm 底层土壤次之,20—50 cm 层土壤最慢。土壤含水量上升期的历时长短和结束时间由降雨前期土壤含水率和土壤本身特性决定,它们影响着土壤水再

分布的速度^[10]。观察退水期回归方程(表 4),可见 50—80 cm 土壤退水最快,这是由于底层水处于土壤含水量处于高位,所以下降快。但在暴雨等级条件下,由于表层土前期含水量较低,土壤含水量迅速上升到高位,其最高值高于 0—20 cm 和 20—50 cm 土壤,所以下降速度也快。总之,降雨和前期土壤含水量都会影响土壤透水能力,进而导致优势流现象的时变性^[10]。

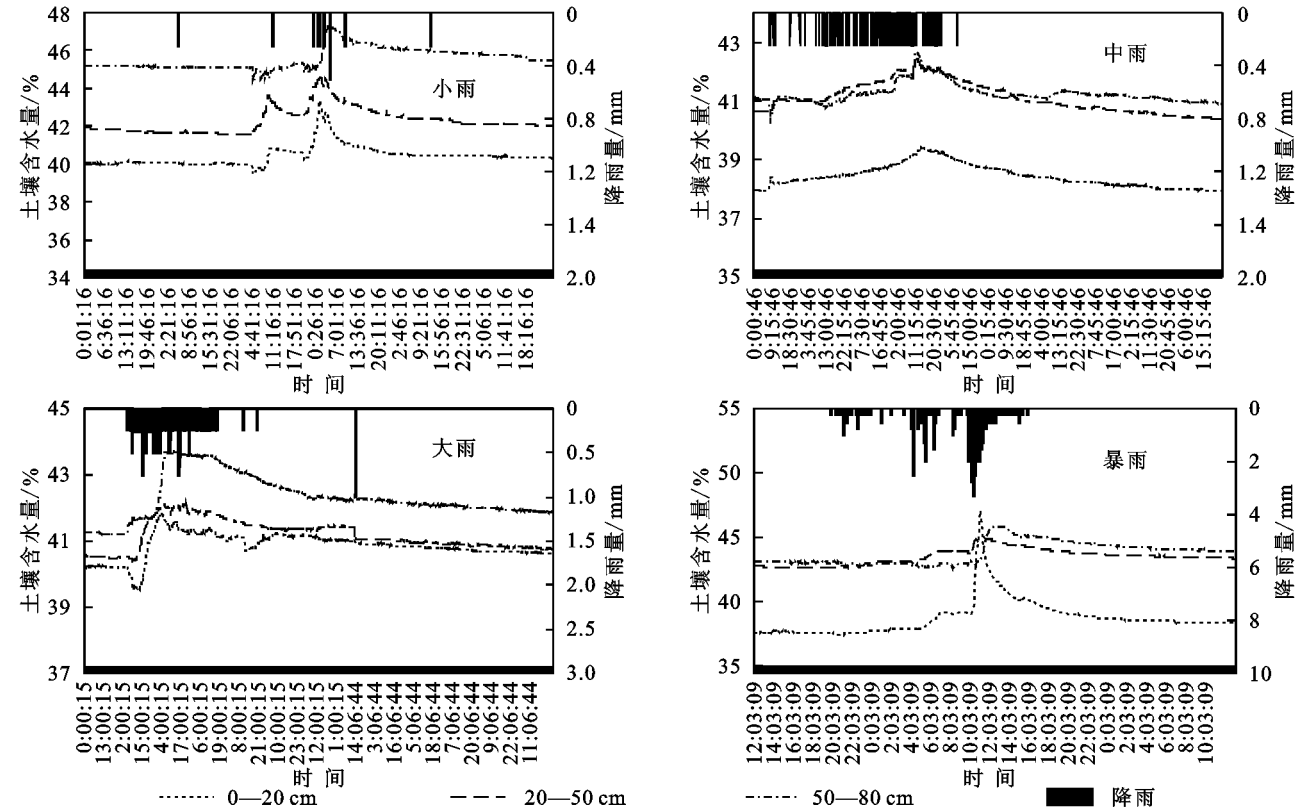


图 1 不同降雨等级条件下土壤含水量对降雨的响应

表 4 土壤含水量上升期和退水期模拟回归方程

降雨等级	上升期	退水期
小雨	$Y=0.038X+39.746$ ($R^2=0.750, p<0.01$)	$Y=-0.001X+41.282$ ($R^2=0.522, p<0.01$)
	$Y=0.036X+42.148$ ($R^2=0.954, p<0.01$)	$Y=-0.002X+43.367$ ($R^2=0.727, p<0.01$)
	$Y=0.020X+44.518$ ($R^2=0.576, p<0.01$)	$Y=-0.002X+46.649$ ($R^2=0.851, p<0.01$)
	$Y=0.002X+41.027$ ($R^2=0.941, p<0.01$)	$Y=0.000X+39.074$ ($R^2=0.909, p<0.01$)
中雨	$Y=0.001X+38.248$ ($R^2=0.901, p<0.01$)	$Y=0.000X+41.716$ ($R^2=0.586, p<0.01$)
	$Y=0.002X+40.750$ ($R^2=0.822, p<0.01$)	$Y=0.000X+41.901$ ($R^2=0.916, p<0.01$)
	$Y=0.012X+39.139$ ($R^2=0.932, p<0.01$)	$Y=0.000X+41.331$ ($R^2=0.811, p<0.01$)
	$Y=0.003X+41.097$ ($R^2=0.691, p<0.01$)	$Y=0.000X+41.784$ ($R^2=0.908, p<0.01$)
大雨	$Y=0.011X+41.138$ ($R^2=0.880, p<0.01$)	$Y=0.000X+43.349$ ($R^2=0.843, p<0.01$)
	$Y=0.736X+37.671$ ($R^2=0.953, p<0.01$)	$Y=-0.011X+41.455$ ($R^2=0.588, p<0.01$)
	$Y=0.102X+44.094$ ($R^2=0.790, p<0.01$)	$Y=-0.004X+44.805$ ($R^2=0.857, p<0.01$)
	$Y=0.117X+42.549$ ($R^2=0.910, p<0.01$)	$Y=-0.006X+45.579$ ($R^2=0.891, p<0.01$)
暴雨		

4 结论

通过分析毛竹林各层次土壤含水量的降雨响应,得出以下结论:(1)降雨后 0—20 cm, 20—50 cm,

50—80 cm 土壤含水量变化很有规律性,3 个层次土壤含水量差异显著($p<0.01$),年均值分别为: 39.49%, 41.17%, 44.15%, 表层 0—20 cm 土壤含水 (下转第 128 页)

膜,同一材料不同规格、不同厚度地膜进行对比研究,以筛选出更适宜河套灌区农业生产的生物地膜种类和规格。

参考文献:

- [1] Ramakrishna A, Tam H M, Wani S P, et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern vietnam[J]. Field Crops Research, 2006,95(2/3):115-125.
- [2] 张德奇,廖允成,贾志宽. 旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(1):208-213.
- [3] Li F M, Wang P, Wang J, et al. Effects of irrigation before sowing and plastic film mulching on yield and water uptake of spring wheat in semiarid Loess Plateau of China [J]. Agricultural Water Management, 2004,67(2):77-88.
- [4] 张永涛,汤天明,李增印. 地膜覆盖的水分生理生态效应[J]. 水土保持研究,2001,8(3):45-47.
- [5] 李尚忠,王勇,樊廷录,等. 旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应[J]. 中国农业科学,2010,43(5):922-931.
- [6] 郑和祥,郭克贞,郝万龙. 作物生长指标与土壤水分状况及地温关系研究. 水土保持研究,2011,18(3):210-212,216.
- [7] 王星,吕家珑,孙本华. 覆盖可降解地膜对玉米生长和土壤环境的影响[J]. 农业环境科学学报,2003,22(4):397-401.
- [8] Moreno M M, Moreno A. Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop [J]. Scientia Horticulturae, 2008,116(3):256-263.
- [9] 康虎,敖李龙,秦丽珍,等. 生物质可降解地膜的田间降解过程及其对玉米生长的影响[J]. 中国农学通报, 2013,29(6):54-58.
- [10] 申丽霞,王璞,张丽丽,等. 可降解地膜的降解性能及对土壤温度、水分和玉米生长的影响[J]. 农业工程学报, 2012,28(4):111-116.
- [11] 申丽霞,王璞,张丽丽,等. 可降解地膜对土壤、温度水分及玉米生长发育的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(6):25-30.
- [12] 严昌荣,梅旭荣,何文清,等. 农田地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业工程学报,2006,22(11):269-272.
- [13] Immirzi B, Santagata G, Vox G, et al. Preparation, characterisation and field-testing of a biodegradable sodium alginate-based spray mulch[J]. Biosystems Engineering, 2009,102(4):461-472.
- [14] 王鑫,胥国宾,任志刚,等. 无公害可降解地膜对玉米生长及土壤环境的影响[J]. 中国农业生态学报,2007,15(1):78-81.
- [15] 乔海军,黄高宝,冯福学,等. 生物全降解地膜的降解过程及其对玉米生长的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2008,10(5):71-75.
- [16] 李建奇. 地膜覆盖对春玉米产量、品质的影响机理研究[J]. 玉米科学,2008,16(5):87-92,97.
- [17] 李仙岳,彭遵原,史海滨,等. 不同类型地膜覆盖对土壤水热与葵花生长的影响[J]. 农业机械学报,2015,46(2):97-103.

(上接第123页)

量最少,20—50 cm 增加,50—80 cm 最高。降雨与3个层次土壤含水量都呈极显著相关性。(2)从小雨到暴雨,土壤含水量对降雨的响应都可以分为平台期、上升期、峰值期和退水期;各层次土壤含水量对降雨的响应是比较复杂的,0—20 cm 表层土壤由于受降雨和地表径流的影响,土壤含水量波动较大,而20—50 cm 和 50—80 cm 土壤则波动较缓。(3)在上升期,表层 0—20 cm 土壤含水量增加最快,退水期,50—80 cm 土壤最快,这与前期土壤含水量及降雨强度有关。降雨和前期土壤含水量都会影响土壤透水能力,进而导致优势流现象的时变性。

参考文献:

- [1] 王丽媛,王克勤,李太兴,等. 红壤坡耕地烤烟生长季土壤水分动态变化特征[J]. 中国水土保持,2013(8):57-60.
- [2] 汪春林,张金池,庄义琳,等. 南京城郊不同植被类型土壤含水量变异规律[J]. 浙江农林大学学报,2014,31(6):911-918.
- [3] 高红贝,邵明安. 干旱区降雨过程对土壤水分与温度变化影响研究[J]. 灌溉排水学报,2011,30(1):40-45.
- [4] 吴胡强,邵永昌,庄义琳,等. 南京城郊麻栎林坡面土壤体积分含水率与侧向流对降雨响应[J]. 浙江农林大学学报,2014,31(5):683-689.
- [5] 段文军,李海防,王金叶,等. 漓江上游典型森林植被对降水径流的调节作用[J]. 生态学报,2015,35(3):663-669.
- [6] 李海防,王金叶,刘兴伟,等. 广西猫儿山主要林型水源涵养功能研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(1):50-53.
- [7] 赵明秀,樊亚明,史梅容,等. 广西猫儿山典型植被林冠结构比较研究[J]. 西部林业科学,2015,44(1):125-128.
- [8] 鲍彪,毕华兴,云雷,等. 晋西黄土区刺槐林地土壤水分对降雨的响应[J]. 北京林业大学学报,2012,34(2):84-89.
- [9] 倪广艳,赵平,朱丽薇,等. 荷木整树蒸腾对干湿季土壤水分的水力响应[J]. 生态学报,2015,35(3):652-662.
- [10] 李谦,郑锦森,朱青,等. 太湖流域典型土地利用类型土壤水分对降雨的响应[J]. 水土保持学报,2014,28(1):6-11.