

漓江上游猫儿山 3 种典型植被不同层次土壤的含水量

李海防¹, 赵明秀¹, 樊亚明¹, 赵连生², 王邵能², 赵 苡²

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

摘 要: [目的] 揭示漓江上游森林植被对降水产流的调节作用, 客观评估漓江上游水资源潜力, 为流域水资源管理和森林经营提供科学依据。[方法] 以漓江上游猫儿山林区的毛竹林(*Phyllostachys pubescens*)、荷木林(*Schima superba*)和杉木林(*Cunninghamia lanceolata*) 3 种典型森林植被为研究对象, 比较不同层次土壤含水量及其影响因素。[结果] (1) 由于荷木林冠层结构复杂, 与毛竹林和杉木林相比, 荷木林蓄水能力更强; 毛竹林、荷木林和杉木林 3 种植被垂直结构明显, 导致土壤含水量垂直变化趋势不同; (2) 荷木林土壤含水量都在高值变化, 而杉木林土壤含水量都在低值变化; 各层次土壤含水量与年降雨分配关系密切, 随着雨旱两季变化, 毛竹林、荷木林和杉木林不同层次土壤水分随降雨变化趋势基本一致; (3) 毛竹林土壤孔隙度大于木荷林和杉木林, 但毛竹林的浅根性和速生性对表层土壤水含量影响更大。[结论] 大气降水是土壤含水量变化的主要因素, 土壤含水量是降雨与植被垂直结构及蒸腾作用共同作用的结果。

关键词: 猫儿山; 典型植被; 土壤含水量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0069-05

中图分类号: S715.3

文献参数: 李海防, 赵明秀, 樊亚明, 等. 漓江上游猫儿山 3 种典型植被不同层次土壤的含水量[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 69-73. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.013

Soil Water Content Under Three Typical Forests of Mao'er Mountain in Upper Reaches of Lijiang River

LI Haifang¹, ZHAO Mingxiu¹, FAN Yaming¹, ZHAO Liansheng², WANG Shaoneng², ZHAO Yi²

(1. School of Tourism, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China;

2. Mao'er Mountain National Nature Reserve Administration, Xing'an, Guangxi 541316, China)

Abstract: [Objective] Studying relationships between forest vegetation and its hydrological effects, and evaluating the water resources potential in the upper reaches of Lijiang river in order to provide scientific basis for water resources management and forest management. [Methods] Changes of soil water content at different soil layers in three typical forests including *Phyllostachys pubescens*, *Schima superba* and *Cunninghamia lanceolata* were studied in Mao'er mountain in the upper reaches of Lijiang River. [Results] (1) Due to the complicated canopy structure, higher water storage was found in *S. superba*. There was an obvious difference in the vertical variation of soil water content in different soil layers because of the vertical vegetation structure. (2) Soil water content in *S. superba* varied within higher values, while it changed within lower values in *C. lanceolata*. Soil water content at different soil layers significantly correlated with the precipitation, and the three typical forests showed a same changing trend with annual rainfall. (3) Soil porosity in *P. pubescens* was higher than that in *S. superba* and *C. lanceolata* and its property of shallow root and fast growing exerted great effects on surface soil water content. [Conclusion] Precipitation is the most important factor that influence soil water content, and the variation of soil water content is the result of rainfall and vertical vegetation structure and transpiration.

Keywords: Mao'er mountain; typical forest; soil water content

收稿日期: 2015-06-19

修回日期: 2015-08-21

资助项目: 国家自然科学基金项目“漓江上游典型植被蓄水—释放机理及水文响应”(41261006); 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

第一作者: 李海防(1974—), 男(汉族), 山东省莱阳市人, 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。

通讯作者: 樊亚明(1978—), 男(汉族), 湖北省咸宁市人, 博士, 副教授, 主要从事景观生态学 and 生态规划教学与科研工作。E-mail: 51661906@qq.com。

土壤水分是维持陆地森林生态系统的关键,是影响流域径流和地区水文循环的重要因子^[1]。土壤与外界环境进行水分的输入输出,同时,土壤水分通过壤中流不断移动,导致土壤含水量时刻变化^[2]。土壤含水量由于降雨、植被、地形和土壤物理性质等多种因素的影响,在空间、时间上发生变化,进而影响森林的降雨产流过程^[3]。同时,不同森林植被由于受植物根系和凋落物影响差异,不同层次土壤含水量差异也很大,因此,探究相同降雨条件下不同森林植被土壤水分动态及其空间异质性,对深入了解森林系统与降水产流、地表径流、河川径流的关系,具有重要的参考价值,对调整林业建设和人工植被的生态管理具有重要的生态意义^[4]。

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。如何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,具有现实的紧迫性^[5]。

本研究以漓江上游猫儿山林区为研究区,比较分析毛竹林(*Phyllostachys Pubescens*)、荷木林(*Schima superba*)和杉木林(*Cunninghamia lanceolata*)3种典型森林植被土壤含水量,以期为揭示漓江上游森林植被对降水产流的调节作用,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。

表 1 3 种林型本底值特征

林分	主要树种	海拔/ m	坡向	坡度/ (°)	郁闭度/ %	密度/ (株·hm ⁻²)	平均胸径/ cm	平均树高/ m
毛竹林	<i>P. Pubescens</i>	680	SW	35	90	2 250	8.3	10
荷木林	<i>S. superba</i>	700	SW	27	85	1 200	18.4	7.5
杉木林	<i>C. lanceolata</i>	710	W	37	95	320	19.3	15

2.2 降雨量和土壤含水量同步测定

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、降雨历时、平均降雨强度等指标。土壤含水量利用森林土壤水分自动观测系统(SMR101 A-5, MadgeTech, 美国)同步定位测定3种植被不同层次的土壤温度和土壤体积含水量,根据样地土壤实际情况,本研究测定了0—20, 20—50, 50—80 cm这3个层次的土壤含水量。每个林型各层次土壤都设置2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^[4]。

2.3 土壤渗透性和土壤物理性质的测定

在各样地内,挖取土壤剖面,用环刀(内径10 cm,高20 cm)分别在0—20, 20—50, 50—80 cm土层取自

1 研究区概况

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1.7×10⁴ 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。猫儿山海拔279.5~2 141.5 m,植被垂直分带明显,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^[5]。其中,海拔1 000 m左右地势平缓,土壤深厚,植被典型。

2 研究方法

2.1 样地设置

由于降雨量随海拔变化差距很大,本研究在对林区植被全面调查的基础上,为提高试验的准确性和可比性,选择距离较近的,有代表性的毛竹林、荷木林和杉木林3种典型森林植被为研究对象,每个林型设置1个标准水量平衡场,面积为10 m×20 m,同步监测比较不同层次土壤含水量。3种植被土壤类型一致,本底值见表1。

然状态土样,带回室内用于物理性质分析。室内浸泡36 h后,用“单环有压入渗法”测定土壤渗透性。测定时将装有原状土柱的环刀下端套上有网孔且垫有滤纸的底盖,上端放置一个大小与环刀一致,高5 cm的塑料环。将上下接口密封,严防漏水。将结合好的环刀放在漏斗上方,漏斗下面接盛水容器。从上方向环内加水,保持水与环的上沿持平,即保持5 cm的水头。试验过程中每隔1 min称量并记录1次通过土柱渗透出的水量,直到单位时间内渗出的水量相等为止^[6]。用“浸水法”测定各层次土壤的容重,毛管孔隙度,非毛管孔隙度和总孔隙度等指标^[7]。

2.4 数据处理

采用统计分析软件SPSS 16.0进行方差、相关及

回归分析。采用最小显著差异法(LSD)比较3种植被各层次土壤含水量差异,采用 Pearson 相关系数检验土壤含水量和降雨量的相关性。

3 结果与分析

3.1 3种植被土壤含水量比较

对3种典型植被土壤含水量进行比较分析(表2),可见年平均含水量差异极显著($p < 0.01$),0—20 cm 土壤含水量大小顺序为:荷木林(50.53%)>毛竹林(39.71%)>杉木林(36.75%),表明荷木林的地上植被结构以及地表枯枝落叶层的理化性质,更有利于保护地表土壤水分,土壤蓄水能力增强。而20—50 cm 土壤含水量大小顺序为:荷木林(43.70%)>毛竹林(41.06%)>杉木林(32.04%),50—80 cm 土壤水分大小顺序为:荷木林(46.27%)>毛竹林(42.97%)>杉木林(31.47%),荷木林各层次土壤含水量均高于毛竹林和杉木林。这是由于荷木林冠层结构比毛竹林和杉木林更复杂^[8],而冠层厚度、冠层郁闭度、枝叶生物量及枝叶吸水性等多种因素直接影响了降雨的林冠截留,导致荷木林下土壤更有利于水分的存储。

而杉木林可能是由于地表层土壤孔隙通道亲水性降低而堵塞,水分难以进入土壤,含水量低于其他两种植被^[9]。

对比同一植被不同层次土壤含水量,可见毛竹林、荷木林和杉木林土壤含水量垂直变化趋势明显不同(表2)。随着土壤深度的增加,毛竹林土壤含水量自上而下逐渐增加;荷木林土壤表层含水量最高,至20—50 cm 降低,50—80 cm 土壤含水量又升高;杉木林表层土壤水分最高,随土层深度增加,含水量的变化基本呈下降趋势,20—50 cm 土壤减小,至50—80 cm 土壤含水量略有升高。这说明不同植被由于受地上林冠层和地下根系等多种因素的影响,其土壤含水量的垂直变化是很复杂的。地上林冠层不仅能调节林下蒸散速度和林上蒸腾速度,影响各层次土壤含水量^[10],而且,森林植被通过凋落物性质和根系的扩张,改变地表土壤理化性质和土壤通透度,加快地表水分入渗。在本研究中,毛竹林为速生,浅根性树种,荷木林为慢生,深根性树种,杉木林为速生,深根性树种,3种植被土壤含水量垂直变化趋势,正是植被自身垂直结构的反映。

表2 不同植被各层次土壤含水量变化

土层深度/cm	毛竹林含水量			荷木林含水量			杉木林含水量			显著性
	平均值±标准误	最大	最小	平均值±标准误	最大	最小	平均值±标准误	最大	最小	
0—20	39.71±0.28	41.19	38.01	50.53±0.58	53.84	47.55	36.75±0.33	38.61	35.01	$p < 0.01$
20—50	41.06±0.34	42.78	39.04	43.70±0.79	49.37	41.08	32.04±0.23	33.97	30.61	$p < 0.01$
50—80	42.97±1.05	50.07	38.26	46.27±0.57	48.39	42.42	31.47±0.65	34.51	27.60	$p < 0.01$

3.2 不同层次土壤含水量月动态变化

森林植被对土壤水分的影响格局不同^[11],通过2013年8月至2014年7月对3种典型森林植被不同层次土壤水分含量进行长期定位监测,土壤含水量随降雨的水平动态分布见图1。结果显示,毛竹林、荷木林和杉木林0—20 cm 土壤含水量1 a 中的变化范围分别在38.01%~41.19%,47.55%~53.84%和35.01%~38.61%,20—50 cm 层土壤含水量的变化范围分别在39.04%~42.78%,41.08%~49.37%和30.61%~33.97%,50—80 cm 层土壤含水量的变化范围分别在38.26%~50.07%,42.42%~48.39%和27.60%~34.51%。荷木林3个层次土壤含水量都在高值变化,而杉木林土壤含水量都在低值变化。从土壤含水量月动态变化来看(图1),各层次土壤含水量与年降雨分配关系密切,随着雨旱两季变化,毛竹林、荷木林和杉木林不同层次的土壤含水量变化趋势基本一致,各层次土壤含水量在9月至翌年2月处于较低水平,3月份以后土壤含水量处于上

升时期。其中,毛竹林和荷木林变化趋势明显,而杉木林表层土壤雨旱两季变化趋势不明显,这可能与杉木林样地海拔略低,受局部小气候的影响,说明林地各层次土壤含水量主要受到降雨的影响,但又与地形、植被结构、土壤理化性质等多种因素有关^[12-13]。

3.3 土壤含水量影响因素

由表3可以看出,毛竹林、荷木林和杉木林3个层次土壤含水量与降雨量的相关性都极显著,降雨是影响土壤含水量的主要因素。但渗透性良好的土壤,水分能迅速地进入土壤贮存起来或转变为地下径流^[6]。在表3中,3种植被的土壤渗透性差异明显($p < 0.05, n = 3$),在相同的立地条件下,毛竹林的土壤渗透性最好,3层土壤的初渗速率和稳渗速率平均值分别为5.70和0.38 mm/min,杉木林的土壤渗透性能最差,初渗速率和稳渗速率平均值分别为5.26和0.16 mm/min。但土壤的渗透性并不能代表降雨对各层次土壤的影响程度,降雨的入渗还与地下根系的密度、根系的直径、土壤微生物活性、土壤的结构和

孔隙度等多种因素有关^[14]。在 3 种林型中,毛竹林土壤总孔隙度最高($p < 0.05, n = 3$),3 层土壤平均值达到 59.20%,荷木林居中,3 层土壤总孔隙度平均值为 54.51%,杉木林土壤总孔隙度最低,平均值为 54.36%。毛竹林的总孔隙度最高,但土壤含水量较低,说明植物根系可以通过土壤水分的入渗及蒸腾作用对表层土壤含水量产生影响。

4 讨论与结论

(1) 3 种林型不同层次土壤含水量比较。通过对毛竹林、荷木林和杉木林 3 种典型植被不同层次土壤含水量进行比较分析,得出以下结论,与毛竹林和杉木林相比,荷木林的蓄水能力更强,这与黄荣珍^[15]等人的研究结果类似。不同植被由于林下枯枝落叶数量和分解状况的不同,对土壤的容重、孔隙度以及入渗速率的影响也不同^[15]。木荷林地上部分覆盖良好,地表有较多的枯落物,降低了地表土壤水分的蒸发,增加森林土壤孔隙度,提高水分下渗至土壤深处的能力。由于植被垂直结构差异,毛竹林、荷木林和杉木林从上到下不同层次土壤含水量变化趋势明显不同。随着土壤深度的增加,木荷林地和杉木林地的变化趋势均较为接近,0—20 cm 含水量最高,20—50 cm 土壤含水量减小,至 50—80 cm 土壤含水量有所升高,而毛竹林的变化明显与木荷林、杉木林不同,0—20 cm 含水量最小。这可能是由于毛竹林属于浅根性树种,植物根系集中于表层 0—20 cm 范围内,20 cm 以下植物根系较少,而荷木林和杉木林在 20—50 cm 层有较多根系分布,根系产生的蒸腾作用对土壤含水量的影响更大。

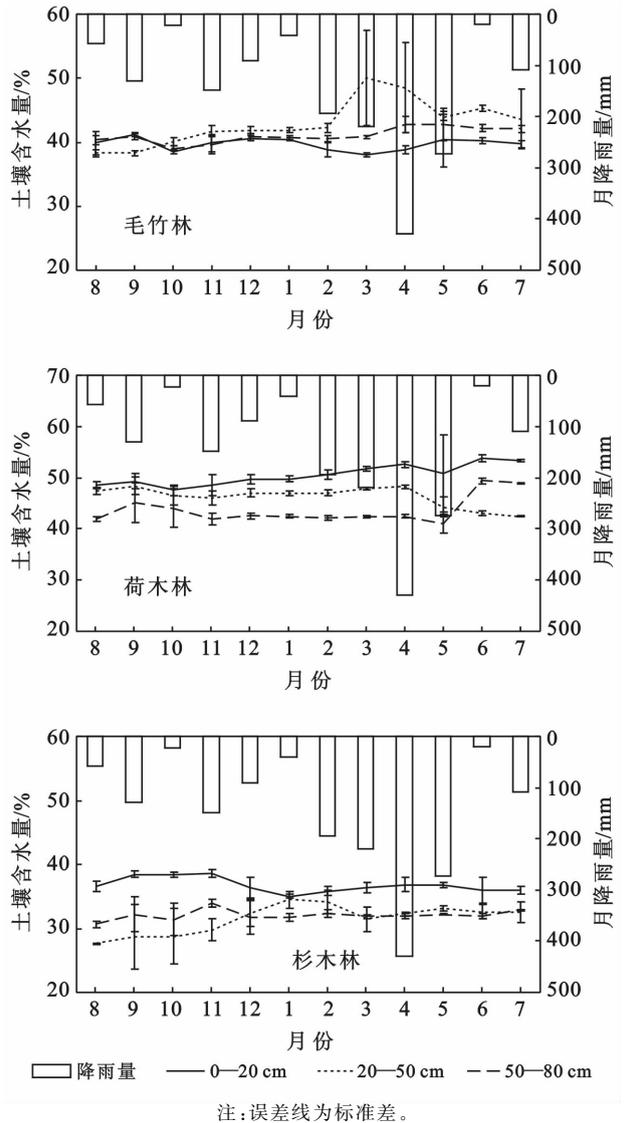


图 1 不同层次土壤含水量月动态变化

表 3 土壤渗透性及土壤物理性质

林型	土壤层次/cm	土壤渗透性		土壤水物理性质			土壤含水量与降雨的相关性	样本容量/n	
		初渗速率/ (mm · min ⁻¹)	稳渗速率/ (mm · min ⁻¹)	容重/ (g · cm ⁻³)	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%			总孔隙度/%
毛竹林	0—20	6.20	0.70	0.74	16.92	45.48	62.40	0.025**	85 049
	20—50	5.42	0.16	0.93	12.78	44.75	57.53	0.080**	85 049
	50—80	5.48	0.27	0.88	17.79	39.89	57.68	0.103**	85 049
荷木林	0—20	5.85	0.23	0.85	12.74	44.96	57.70	0.038**	85 426
	20—50	5.48	0.18	1.02	9.14	43.54	52.68	0.020**	85 426
	50—80	5.42	0.15	1.09	3.38	49.78	53.16	0.074**	85 426
杉木林	0—20	5.41	0.18	0.78	10.48	39.73	50.21	0.154**	85 216
	20—50	5.38	0.15	0.79	5.84	50.88	56.71	0.030**	85 216
	50—80	4.99	0.14	0.92	11.22	44.93	56.15	0.091**	85 216

注: ** 土壤含水量与降雨量相关性极显著。

(2) 土壤含水量影响因素。土壤含水量是降水等气候因素与土壤特性综合作用的结果,土壤含水量体现了大气降水与土壤、植被、地貌等因素的相互关

系^[16]。由于荷木林林冠层结构复杂,荷木林土壤含水量都在高值变化,而杉木林土壤含水量都在低值变化。3 种植被各层次土壤含水量与年降雨分配关系密

切,随着雨旱两季变化,毛竹林、荷木林和杉木林不同层次的土壤水分随降雨变化趋势基本一致,降雨量峰值与各层次土壤含水量变化峰值出现基本一致,这一结果与对王小明等^[17]的研究结果相似。在土壤含水量影响因素方面,大气降水是土壤含水量变化的主要因素,降雨量在很大程度上控制着土壤水分^[18-20]。表层土壤水分主要受控于气候条件,特别是受降雨和地表蒸发的影响^[21],土壤含水量变化剧烈程度,通常被称为土壤水分活跃层。毛竹林表层土非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度都大于木荷林和杉木林,有利于降水的土壤入渗,但荷木林的土壤含水量明显大于毛竹林和杉木林。说明毛竹林的浅根性和速生性对表层土壤水含量影响更大,同时,毛竹林冠郁闭度差,地表蒸发较快,因而对地表层土壤水含量影响最大。此外,各层次土壤含水量也与植物的蒸腾作用这一重要因素有关,植物的蒸腾较为复杂,不仅与其生物学特性密切相关,而且受土壤、光照、温度和湿度等外部因子的影响^[22-23]。目前,植物蒸腾作用的研究还多集中在苗木和单株树木的研究上^[23],对植被群体蒸腾的研究还相对较少,且植物的蒸腾作用在不同时间和空间尺度上的变化很大^[24],因而在本研究中没有涉及。但前人研究表明,毛竹林、荷木林和杉木林的蒸腾作用差别很大,必将对不同层次土壤含水量产生重要影响^[24-26]。总之,不同层次土壤含水量是降雨与植被垂直结构及蒸腾作用共同影响的结果。

[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] 韩永刚,王维明,杨玉盛. 闽北不同土地利用方式土壤蓄水量的研究[J]. 亚热带水土保持, 2011, 23(2): 1-5.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 李海防,杨章旗,韦理电,等. 广西华山林场5种典型人工林水文功能评价[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(2): 170-175.
- [7] 王勤,张宗应,徐小牛. 安徽大别山库区不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 59-62.
- [8] 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.
- [9] Van Dijk A, Keenan R J. Planted forests and water in perspective[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 251(1/2): 1-9.
- [10] Serengil Y, Gokbulak F, Ozhan S, et al. Hydrological impacts of a slight thinning treatment in a deciduous forest ecosystem in Turkey[J]. Journal of Hydrology, 2007, 333(2): 569-577.
- [11] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵小流域地形和土地利用对土壤水分时空格局的影响[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 334-341.
- [12] Hawthorne S N D, Lane P N J, Bren L J, et al. The long term effects of thinning treatments on vegetation structure and water yield[J]. Forest Ecology and Management, 2013(310): 983-993.
- [13] Hümann M, Schuler G, Müller C, et al. Identification of runoff processes: The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods[J]. Journal of Hydrology, 2011, 409(3): 637-649.
- [14] Jost G, Schume H, Hager H, et al. A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff processes during intense rainfall[J]. Journal of Hydrology, 2012(420): 112-124.
- [15] 黄荣珍. 不同林地类型土壤水库特性的初步研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2002.
- [16] 刘梅,蒋定生,黄国俊,等. 不同坡面位置土壤水分差异规律分析[J]. 水土保持通报, 1990, 10(2): 16-20.
- [17] 王小明,周本智,钟绍柱,等. 不同降雨条件下天然次生林水文过程动态分析[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(6): 57-60.
- [18] 李洪建,王孟本,柴宝峰. 黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 515-519.
- [19] 陈洪松,邵明安,王克林. 黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1853-1857.
- [20] 李毅,邵明安. 雨强对黄土坡面土壤水分入渗及再分布的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2271-2276.
- [21] 灵灵. 赛罕乌拉自然保护区不同植被类型下土壤水分特征及物理性状研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [22] 李洪建,柴宝峰,王孟本. 北京杨水分生理生态特性研究[J]. 生态学报, 2000, 20(3): 417-422.
- [23] 孔俊杰,贾黎明,李广德. 影响树木蒸腾耗水的外部因子研究进展[J]. 世界林业研究, 2007, 20(1): 16-21.
- [24] 施建敏,郭起荣,杨光耀. 毛竹蒸腾动态研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(1): 101-104.
- [25] 刘鑫,张金池,汪春林,等. 长三角区典型树种杉木液流速率变化特征[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2014, 38(2): 86-92.
- [26] 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.