

# 不同龄组兴安落叶松林枯落物的水文效应

石亮, 舒洋, 张波, 王梓璇, 葛鹏, 赵鹏武, 周梅

(内蒙古农业大学 草原与资源环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘要:** [目的] 分析大兴安岭地区不同龄组兴安落叶松林枯落物蓄积量持水特性, 为该地区森林水文效应研究提供理论基础和重要依据。[方法] 选择不同龄组兴安落叶松天然林为研究对象, 通过设置标准样地测定枯落物蓄积量, 并采用浸水法测定枯落物持水特性, 分析不同龄组兴安落叶松天然林枯落物水文效应。[结果] 4 个龄组兴安落叶松林枯落物蓄积量变化介于 28.03~34.32 t/hm<sup>2</sup> 之间, 最大持水量介于 87.09~109.52 t/hm<sup>2</sup>, 最大持水量表现为随着林龄增加而增加的变化趋势, 且半分解层的蓄积量都大于未分解层; 经统计分析, 试验 4 个龄组兴安落叶松林枯落物未分解层、半分解层的持水量与浸泡时间之间均符合对数关系, 且吸水速率与浸泡时间之间也符合指数关系; 枯落物对降水的拦蓄能力总体来看, 半分解层对降雨的拦蓄能力较未分解层强。[结论] 大兴安岭地区不同龄组兴安落叶松林枯落物蓄积量差异显著(除成熟林和近熟林之间), 成熟林、近熟林和中林龄对于降水的拦蓄能力较幼龄林强。

**关键词:** 兴安落叶松林; 枯落物; 水文效应

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2016)05-0091-05

**中图分类号:** S715

**文献参数:** 石亮, 舒洋, 张波, 等. 不同龄组兴安落叶松林枯落物的水文效应[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 091-095. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.023

## Hydrological Effects of Litters in Xing'an Larch Forest at Different Stand Ages

SHI Liang, SHU Yang, ZHANG Bo, WANG Zixuan, GE Peng, ZHAO Pengwu, ZHOU Mei

(College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010020, China)

**Abstract:** [Objective] In order to provide theoretical basis for forest hydrological effect study, the experiment was conducted to investigate the growing stock and water retention capability of forest litter at different stand ages group in Daxing'an Mountains. [Methods] We chose Xing'an forest larch with different stand ages as the object, and set the standard sample. The method of water immersion was used to measure the water retention capability of litter. We then calculated the effective retaining content and the maximum water-holding capacity. [Results] The litter volume of four different stand age groups was from 28.03 to 34.32 t/hm<sup>2</sup>, and the maximum water-holding capacity was from 87.09 to 87.09 t/hm<sup>2</sup>. The maximum water-holding capacity increased with the increase of litter volume, and the maximum water-holding capacity in the half-decomposed layer was greater than that in the undecomposed layer. By statistical analysis, there was a logarithmic relationship between water capacity of undecomposed and half-decomposed layer and immersion time, and there was an exponential relationship between water absorption rate and immersion time. Overall, the rainfall interception capacity of half-decomposed layer was better than that of undecomposed layer. [Conclusion] Significant difference has been found in forest litter volume among Xing'an larch with different ages excepting which of the mature forest and near-mature forest, the rainfall interception capacity of mature forest, near-mature forest and middle-aged forest was greater than that of young forest.

**Keywords:** Xing'an larch forest; litters layer; hydrological effects

森林具有强大的水源涵养能力, 其中林下枯落物 涵养能力的强弱及拦蓄大气降水能力的大小与其树  
层持水是森林水文效应的重要环节<sup>[1]</sup>, 枯落物对水源 种自身特性、积累数量、分解状况和自然含水量有着

收稿日期: 2016-01-03

修回日期: 2016-01-19

资助项目: 内蒙古科技计划项目“大兴安岭森林火灾后生态监测与评价技术研究”(20130435)

第一作者: 石亮(1991—), 男(汉族), 内蒙古自治区巴彦淖尔人, 硕士研究生, 主要从事森林生态学方面的研究。E-mail: 327084694@qq.com。

通讯作者: 周梅(1960—), 女(蒙古族), 内蒙古自治区呼和浩特市人, 博士, 教授, 主要从事森林生态学及森林水文研究。E-mail: dxal528@aliyun.com。

密切关系<sup>[2]</sup>。国内外学者对不同林型枯落物持水性做了许多研究,研究表明:森林枯落物层具有较好的水分劫持能力,从而影响到穿透雨对土壤水分的补充和植物水分的供给<sup>[3]</sup>;Wilson 等<sup>[4]</sup>认为枯落物层的持水能力对森林生态系统水分蒸散量起着重要作用;这些研究多为枯落物自身水文特性的研究,而针对同一树种不同龄组下枯落物水文效应研究较少。李良等<sup>[5]</sup>则是探究了不同林龄条件下华北落叶松人工林枯落物蓄积量和持水能力的变化规律,发现各个林龄下枯落物最大持水量均是未分解层小于半分解层。此外,一些学者还对枯落物凋落动态及其森林水文过程进行了模拟研究,刘向东等<sup>[6]</sup>认为油松枯落物截留降雨量与降雨量的关系符合幂函数关系。

大兴安岭是呼伦贝尔草原和松嫩平原的天然屏障,是黑龙江、嫩江的几十条直流的发源地,具有独特的地理和气候条件,它对于中国东北地区保持水土、涵养水源、维护生态平衡方面有着重要地位和作用<sup>[7]</sup>。兴安落叶松又是大兴安岭中的主要树种,因此研究兴安落叶松林枯落物的水文效应,对了解大兴安岭地区水文过程和规律有着重要的意义。本文拟通过对不同龄组兴安落叶松天然林枯落物存储量、持水量和拦蓄力特性进行研究,分析其在水文生态功能作用的规律性,以期为大兴安岭地区森林的健康生长及涵养水源和生态服务功能评价提供理论基础和重要依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区设置在内蒙古大兴安岭林管局根河林业

局施业区内(51°1′—51°51′N, 121°1′—121°32′E)。该区属寒温带大陆性季风气候,年平均气温为-5.3~-5.5℃,极端最高温度40.0℃,极端最低温度为-51.6℃,≥1℃年平均积温1308.9℃,年较差47.4℃,日较差20℃;年日照时数为2594h;结冻期210d以上,无霜期较长达到80~90d;年降水量为450~500mm(其中12%的降水来自于降雪),每年降水主要集中在7,8月,降雪期一般从9月下旬始至次年5月上旬,降雪厚度20~40cm,年地表蒸发量为800~1200mm。研究区的土壤类型主要以棕色针叶林土为主,主要乔木有兴安落叶松(*Larix gmelinii*)、白桦(*Betula platyphlla*)、樟子松(*Pinus sylvestris*)等。主要灌木有杜鹃(*Rhododendron simsii*)、刺玫果(*Rosa multiflora*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、杜香(*Ledum palustre*)、柴桦(*Betula fruticosa*)等。主要草本有红花鹿蹄草(*Pyrola incarnata*)、莎草科类(*Cyperaceae*)、蚊子草(*Filipendula angustiloba*)等<sup>[8-9]</sup>。

### 1.2 样地选择

2015年7,8月份,在研究区经实地调查后,选择成熟林(101~140a)、近熟林(81~100a)、中龄林(41~80a)和幼龄林(0~40a)4个龄组的天然兴安落叶松林为研究对象。在4个龄组下各设置30m×30m试验样地3块,共12块样地,记录海拔、坡度、坡向、胸径和树高等因子,样地基本概况见表1。

### 1.3 样品采集

在每一样地依据典型性、代表性和一致性的原则选择1m×1m的小样方3个,分别测定样方内枯落物层厚度后,按照枯落物未分解层枯和半分解层分别装入密封袋内,迅速称其鲜重,并带回实验室。

表1 样地基本信息

龄组	平均树高/m	平均胸径/cm	坡度/(°)	坡位	坡向	海拔/m	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )
成熟林	17.9	26.29	9	坡下	ES	803	645
近熟林	17.6	24.23	5	坡下	E	795	703
中龄林	13.5	12.92	6	坡下	E	816	1510
幼龄林	5.9	4.65	2	坡下	E	799	2580

### 1.4 测定方法

1.4.1 枯落物蓄积量测定 将带回实验室的枯落物样品,置于实验室干燥通风处自然风干,然后在80℃的烘箱内烘干24h(烘干至恒重)后称其重量干重,分别计算出单位面积分解层和半分解层枯落物的蓄积量。

1.4.2 枯落物持水量和吸水速率测定 枯落物持水量和吸水速率采用室内浸泡法<sup>[10]</sup>测定,将4个龄组兴安落叶松林枯落物不同分解层浸入水中后,分

别测定其在0.25,0.5,1,2,3,4,6,8,12,16,24h的重量变化(以无水滴下为标准,24h后的持水量几乎保持不变,因此将24h时的持水量可作为最大持水量)。

1.4.3 枯落物自然含水量和有效拦蓄量测定

自然含水量计算公式为:  $W_c = W_2 - W_1$  (1)

自然含水率计算公式为:

$$R_0 = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $W_c$ ——枯落物自然含水量(%);  $W_2$ ——样品

鲜重(g);  $W_1$  ——样品干重(g);  $R_0$  ——自然含水率(%). 下同。

枯落物有效拦蓄量可用来估算枯落物对降雨的实际拦蓄量,公式为:

$$W = (0.85R_m - R_0)M \quad (3)$$

式中:  $W$  ——有效拦蓄量( $t/hm^2$ );  $R_m$  ——最大持水率(%);  $M$  ——枯落物蓄积量( $t/hm^2$ )<sup>[11-12]</sup>

### 1.5 数据处理

用 Excel 2007 对数据进行处理,数据分析采用 SPSS 20.0 中 LSD 法进行多重比较分析,图像处理采用 Sigmaplot 10.0 制图软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 枯落物蓄积量

由表 2 可知,随着林龄的增加,兴安落叶松林枯落物总蓄积量在逐渐增加,介于  $28.03 \sim 34.32 t/hm^2$ 。经统计分析发现,成熟林与近熟林之间枯落物蓄积量不存在显著差异,其他各个龄组间均存在显著差异( $p < 0.05$ )。同时发现,4 个龄组兴安落叶松林枯落物半分解层蓄积量均大于未分解层蓄积量,其中幼龄林半分解层蓄积量占总蓄积量百分比最大,为

76.72%,近熟林所占比例最小为 70.80%。说明森林枯落物层具有较好的截留和蓄水能力,现存量及枯落物的持水能力是影响枯落物截留和蓄水量的重要因子<sup>[13]</sup>。不同林龄的森林,其生产力和分解能力又会直接影响到枯落物的蓄积量。但与徐洪亮等<sup>[14]</sup>的研究结果相比,未分解层蓄积量占总蓄积量百分比较小,这可能是因为该研究区内气候条件更利于枯落物的分解,所以导致其未分解层蓄积量占总蓄积量的比例较小。

### 2.2 枯落物持水能力

2.2.1 枯落物最大持水力 由表 3 可知,不同龄组兴安落叶松林的最大持水量和持水率变化趋势不同。枯落物未分解层和半分解层最大持水量总和变化表现为成熟林( $109.52 t/hm^2$ ) > 近熟林( $107.46 t/hm^2$ ) > 中龄林( $103.20 t/hm^2$ ) > 幼龄林( $87.09 t/hm^2$ ); 最大持水量与枯落物蓄积量呈正相关关系。最大持水量是评价枯落物持水能力的重要指标之一,而枯落物的持水能力受蓄积量<sup>[15]</sup>、枯落物组成和分解速率的影响<sup>[16]</sup>。而本次研究是在同一林型下进行,因此对于最大持水量而言,蓄积量是导致最大持水量差异的主要原因。

表 2 不同龄组兴安落叶松林枯落物的蓄积量及其组成

龄组	总蓄积/( $t \cdot hm^{-2}$ )	蓄积量/( $t \cdot hm^{-2}$ )		占总蓄积量比/%	
		未分解	半分解	未分解	半分解
成熟林	$34.32 \pm 1.03^a$	9.74	24.58	28.37	71.63
近熟林	$34.28 \pm 1.66^a$	10.01	24.27	29.20	70.80
中龄林	$31.70 \pm 1.14^b$	8.09	23.61	25.51	74.49
幼龄林	$28.03 \pm 1.18^c$	6.59	21.44	23.28	76.72

表 3 不同龄组兴安落叶松林枯落物最大持水量

龄组	最大持水量/( $t \cdot hm^{-2}$ )		
	未分解	半分解	总和
成熟林	30.45	79.07	109.52
近熟林	31.97	75.49	107.46
中龄林	27.75	75.45	103.20
幼龄林	22.41	64.68	87.09

2.2.2 枯落物持水过程 持水量和吸水速率是描述枯落物持水过程的重要指标,它的大小由林分类型、林龄、枯落物分解程度以及自然含水率等多个因素共同影响<sup>[17]</sup>。由表 4 可知,在 24 h 的浸泡过程中,枯落物的持水量一直处于增长趋势,但在 0.25~2 h 内,枯落物持水量增加迅速,随着时间增加,增加速度逐渐变缓,在 12 h 左右枯落物持水量基本达到饱和状态。这一结果也说明,降雨量达到一定程度时,枯落

物层在前 2 h 内对降雨的拦蓄能力最大。从枯落物持水动态中可以看出,未分解层持水量表现为:近熟林 > 成熟林 > 中龄林 > 幼龄林,半分解层则是:成熟林 > 近熟林 > 中龄林 > 幼龄林。对不同龄组兴安落叶松林枯落物层持水量和浸水时间进行回归分析,分别采用三次方程拟合和对数方程进行了拟合,通过拟合系数发现,对数方程更适合描述本研究区枯落物持水量与浸水时间的变化(见表 5)。表达式为:

$$Q = a \ln(t) + b \quad (4)$$

式中:  $Q$  ——枯落物持水量( $t/hm^2$ );  $t$  ——浸水时间(h);  $a$  ——方程系数;  $b$  ——方程常数项。

由图 1—2 可知,整个吸水过程的 0.25~2 h 各龄组枯落物层吸水速率几乎都呈直线下降,4 h 后吸水速率下降速度逐渐变缓并趋于动态平衡。对不同龄组兴安落叶松林枯落物层持水速率和浸水时间进行拟合(表 5),发现其表达式为:

$$V = kt^n \quad (5)$$

式中:  $V$  —— 枯落物吸水速率 [ $t/(hm^2 \cdot h)$ ];  $t$  —— 浸泡时间 (h);  $k$  —— 方程系数;  $n$  —— 指数。

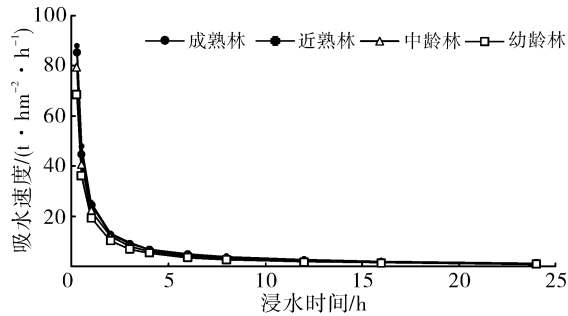


图 1 枯落物半分解层吸水速率与浸水时间的关系

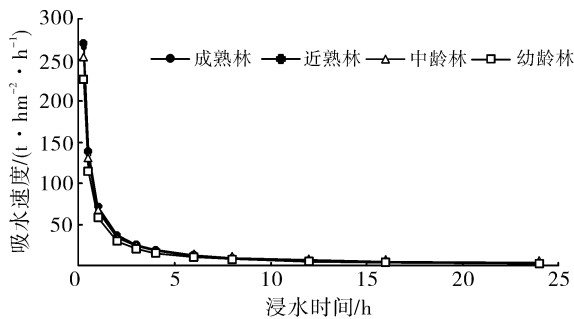


图 2 枯落物未分解层吸水速率与浸水时间的关系

### 2.3 枯落物对降水的拦蓄能力

由表 6 可知,从有效拦蓄量来看,未分解层和半分解层的有效拦蓄量都表现为随林龄增加增加的趋势,即:成熟林>近熟林>中龄林>幼龄林,其中未分解层有效拦蓄量介于 21.70~23.59  $t/hm^2$ ,半分解层有效拦蓄量介于 46.19~58.74  $t/hm^2$ 。而有效拦蓄率的规律与有效拦蓄量却不相同,未分解层表现为:中龄林(268.20%)>幼龄林(266.78%)>成熟林(242.15%)>近熟林(231.86%);半分解层表现为:成熟林(238.96%)>中龄林(230.14%)>近熟林(229.09%)>幼龄林(215.42%)。综合来看,兴安落叶松林的半分解层对降雨的拦蓄能力较未分解层强。从不同龄组来看,成熟林、近熟林和中龄林对于降水的拦蓄能力较幼龄林强,而成熟林、近熟林和中龄林三者之间差异较小。枯落物有效拦蓄能力与枯落物的蓄积量、自然持水量及降水特征等有关。枯落物对降水的拦蓄能力多采用有效拦蓄量和有效拦蓄率来评估<sup>[18]</sup>。主要是因为最大持水量不能代表枯落物层对降水的实际截留量,在很多情况降雨量达不到最大持水量的界点。因此它只能反映出枯落物层的持水能力大小,若用最大持水率来推算枯落物层对降雨的拦蓄能力,通常情况下其结果误差较大,不能准确反映枯落物层对降水的实际拦蓄效果。

表 4 不同龄组兴安落叶松林枯落物持水量

$t/hm^2$

龄组	枯落物层	浸水时间/h										
		0.25	0.50	1	2	3	4	6	8	12	16	24
成熟林	未分解层	21.36	22.39	24.60	25.61	26.74	26.89	27.91	28.84	29.87	30.07	30.45
	半分解层	68.56	70.58	72.06	74.24	75.59	76.60	77.26	77.50	78.92	78.96	79.07
近熟林	未分解层	21.96	23.89	25.34	26.52	27.86	27.93	28.80	29.74	30.99	31.23	31.97
	半分解层	66.33	67.42	68.92	70.54	72.04	72.12	72.24	73.35	73.42	73.92	75.49
中龄林	未分解层	19.85	20.33	22.20	23.79	24.15	24.55	24.15	24.72	25.88	26.60	27.75
	半分解层	63.31	65.36	66.54	67.06	69.92	71.53	72.72	73.57	73.60	73.93	75.45
幼龄林	未分解层	17.13	18.06	19.36	20.48	20.72	21.56	21.54	21.58	21.88	22.37	22.41
	半分解层	56.54	57.27	58.56	59.74	60.92	61.03	61.66	61.95	62.58	63.35	63.68

表 5 持水量和吸水速率与浸水时间的拟合方程

$t/hm^2$

龄组	枯落物层	持水量拟合方程	$R^2$ 值	吸水速率拟合方程	$R^2$ 值
成熟林	未分解层	$Q=2.099 \ln(t)+24.234$	0.991 1	$V=24.12t^{-0.919}$	0.999 9
	半分解层	$Q=2.453 \ln(t)+72.403$	0.977 5	$V=71.915t^{-0.963}$	0.999 6
近熟林	未分解层	$Q=2.181 \ln(t)+25.183$	0.994 6	$V=25.07t^{-0.919}$	0.999 9
	半分解层	$Q=1.894 \ln(t)+69.036$	0.973 6	$V=69.001t^{-0.975}$	0.998 5
中龄林	未分解层	$Q=1.637 \ln(t)+22.002$	0.959 8	$V=21.929t^{-0.93}$	0.999 8
	半分解层	$Q=2.753 \ln(t)+66.919$	0.963 1	$V=66.85t^{-0.96}$	0.999 9
幼龄林	未分解层	$Q=1.177 \ln(t)+19.209$	0.950 8	$V=19.14t^{-0.941}$	0.999 7
	半分解层	$Q=1.629 \ln(t)+58.676$	0.988 8	$V=58.648t^{-0.973}$	0.999 2

表6 枯落物有效拦蓄能力

龄组	枯落物层	最大持水量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	最大持水率/%	自然持水率/%	有效拦蓄量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	有效拦蓄率/%	有效拦蓄深/mm
成熟林	未分解层	30.45	312.63	23.58	23.59	242.15	2.36
	半分解层	79.07	321.68	34.47	58.74	238.96	5.88
近熟林	未分解层	31.97	319.38	39.61	23.21	231.86	2.32
	半分解层	75.49	311.04	35.29	55.60	229.09	5.56
中龄林	未分解层	27.75	343.02	23.37	21.70	268.20	2.17
	半分解层	75.45	319.57	41.50	54.34	230.14	5.43
幼龄林	未分解层	22.41	340.06	22.27	17.58	266.78	1.76
	半分解层	64.68	297.01	37.04	46.19	215.42	4.62

### 3 结论

对研究区4个龄组兴安落叶松天然林枯落物蓄积量调查显示:蓄积量变化介于28.03~34.32 t/hm<sup>2</sup>,且枯落物蓄积量与林龄之间表现为正相关关系。

对于枯落物持水能力而言,其未分解层最大持水量和半分解层最大持水量的总和最表现为随着林龄增加枯落物蓄积量也随之增加的变化趋势,这个主要是与枯落物蓄积量有关系。

枯落物持水量和浸泡时间存在一定的回归关系:关系式为 $Q = a \ln(t) + b$ ,枯落物吸水速率与浸泡时间也存在明显的线性关系,关系式为 $V = kt^n$ ,相关系数均达到0.95以上。

枯落物对降水的拦蓄能力总体来看半分解层对降雨的拦蓄能力较未分解层强,从不同龄组来看,成熟林、近熟林和中龄林对于降水的拦蓄能力较幼龄林强,而成熟林、近熟林和中龄林三者之间差异较小。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 龚伟,胡庭兴,王景燕,等. 川南天然常绿阔叶林人工更新后枯落物层持水特性研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 51-55.
- [2] 常雅军,陈琦,曹靖,等. 甘肃小陇山不同针叶林凋落物量. 养分储量及持水特性[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2392-2400.
- [3] Wilson K B, Hanson P J, Baldocchi D D. Factors controlling evaporation and energy partitioning beneath a deciduous forest over an annual cycle[J]. Agricultural & Forest Meteorology, 2000, 102(2): 83-103.
- [4] 巩合德,王开运. 森林水文生态效应及在川西亚高山针叶林群落中的研究[J]. 世界科技研究与发展, 2003, 25(5): 41-46.
- [5] 李良,翟洪波,姚凯,等. 不同林龄华北落叶松人工林枯落物储量及持水特性研究[J]. 中国水土保持, 2010(3): 32-34.
- [6] 刘向东,吴钦孝,赵鸿雁. 黄土丘陵区油松人工林地土壤水分特征的研究[J]. 水土保持研究, 1991(2): 71-78.
- [7] 周梅. 大兴安岭落叶松林生态系统水文过程与规律研究[D]. 北京:北京林业大学, 2003.
- [8] 赵鹏武,海龙,宋彩玲,等. 大兴安岭北部兴安落叶松原始林倒木研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(3): 173-177.
- [9] 秦可珍,贺婷,包翔,等. 不同火烧强度对兴安落叶松林土壤化学性质的影响[J]. 林业资源管理, 2014(6): 110-114.
- [10] 张淑兰,张海军,张武,等. 小兴安岭不同森林类型枯落物储量及其持水特性比较[J]. 水土保持通报, 2015, 35(4): 85-90.
- [11] 李红振,李凤日,贾炜玮,等. 大兴安岭不同类型白桦落叶松混交林枯落物水源涵养功能[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(6): 43-46.
- [12] 牟雪,姜鹏,王卫军,等. 北沟林场两种不同林分林下枯落物现存量及持水能力的研究[J]. 河北林果研究, 2014, 29(1): 1-4.
- [13] 潘明亮,丁访军,谭伟,等. 贵州西部四种典型林地土壤水文特性研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 139-143.
- [14] 徐洪亮,满秀玲,盛后财. 大兴安岭不同类型落叶松天然林水源涵养功能研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 92-96.
- [15] 赵阳,余新晓,吴海龙,等. 华北土石山区典型森林枯落物层和土壤层水文效应[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 148-152.
- [16] 张长伟,许文盛,李亚龙,等. 湖南省紫鹊界梯田区人工林凋落物持水性[J]. 水土保持通报, 2013, 33(4): 176-179.
- [17] 王茜. 冀北山区不同森林类型水文效应研究[D]. 石家庄:河北农业大学, 2013.
- [18] 徐学华,崔立志,王锡武,等. 不同经营措施对冀北山地华北落叶松林枯落物持水性能的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 157-161.