

# 甘肃省兴隆山天然林下苔藓凋落物蓄积量及持水特性

李国林<sup>1</sup>, 魏强<sup>2</sup>, 凌雷<sup>2</sup>, 张广忠<sup>2</sup>, 柴春山<sup>2</sup>

(1. 甘肃兴隆山国家级自然保护区管理局, 甘肃 兰州 730117; 2. 甘肃省林业科学研究院, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:** 2010 年, 采用野外实地观测与室内浸水法, 对甘肃兴隆山青杆林、青杆—白桦林林下苔藓和凋落物的累积量、持水量、持水率和吸水速率进行了研究。结果表明: (1) 青杆—白桦林和青杆林下苔藓及凋落物层总厚度 7.10~8.30 cm, 总重量 24.66~30.69 t/hm<sup>2</sup>, 青杆—白桦林均高于青杆林; (2) 苔藓层最大持水率明显高于凋落物层, 但凋落物层最大持水量是苔藓层的 11.15 倍; (3) 苔藓层和凋落物层持水率在开始浸水时增加较快, 0.5 h 后增幅逐渐减慢, 浸水 10 h 后基本趋于某一稳定值; (4) 凋落物层最大拦蓄量、有效拦蓄量分别是苔藓层的 10.41 和 10.27 倍; 凋落物层在对降水二次分配及在吸持降水过程中发挥着重要作用, 并且位于主导地位。

**关键词:** 兴隆山; 天然林; 苔藓; 凋落叶; 持水率; 持水量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)03-0300-05

中图分类号: S715.3

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.059

## Water-holding Characteristics and Accumulation Amount of Moss and Litters Under Two Natural Forests in Xinglong Mountains of Gansu Province

LI Guo-lin<sup>1</sup>, WEI Qiang<sup>2</sup>, LING Lei<sup>2</sup>, ZHANG Guang-zhong<sup>2</sup>, CHAI Chun-shan<sup>2</sup>

(1. Administration Bureau of Xinglong Mountains National Nature Reserve of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730117, China; 2. Gansu Provincial Academy of Forestry Sciences, Lanzhou, Gansu 730020, China)

**Abstract:** By field survey and soaking extraction in laboratory, the accumulation amount, water-holding capacity, water-holding rate and water-absorption rate of moss and litters were studied under two main natural forests (*Picea wilsonii* forest and *P. wilsonii* and *Betula platyphylla* mixed forest) in the Xinglong Mountains of Gansu Province in 2010. Results showed that: (1) The total thickness was 7.10~8.30 cm and the total accumulation amount was 24.66~30.69 t/hm<sup>2</sup> for moss and litters of two forests, but the thickness and amount of *P. wilsonii* and *B. platyphylla* forest were all greater than those of *P. wilsonii* forest. (2) The maximum water-holding rate of moss was obviously higher than that of litters, whereas the maximum water-holding capacity of litters was 11.15 times of that of moss. (3) The water-holding rate of moss and litters increased quickly at the beginning of immersion in water, increased gradually after 0.5 h, and tended to a stable value after 10 h. (4) The maximum retain capacity and the effective retain depth of litters were 10.27 times and 10.41 times of that of moss, respectively. Litter layer plays an important role in precipitation secondary distribution, as well as precipitation absorption and holding, and it is in the dominant position.

**Keywords:** Xinglong Mountains; natural forest; moss; litters; water-holding rate; water-holding capacity

苔藓、凋落物层是森林生态系统的重要组成部分, 是森林生态系统垂直结构上的主要功能层之一, 在保持水土, 调节径流, 改良土壤理化性质等方面具有重要作用<sup>[1-2]</sup>。

苔藓植物虽然个体较小, 但常形成大片丛生或垫状群落, 枝叶交错形成大量毛细孔隙, 具有吸水快、蓄水量大等水文作用<sup>[3]</sup>。目前, 关于苔藓的研究主要集

中在生物量<sup>[4]</sup>、蓄积量<sup>[5]</sup>、持水特性<sup>[6]</sup>等方面。不同地区、不同森林类型、不同海拔间苔藓蓄积量差异很大; 不同森林类型间最大持水率差异很大, 而不同海拔及林龄间则差异不显著; 苔藓植物种类不同, 其持水性能也不相同<sup>[7]</sup>。苔藓持水率均随时间增加而增大, 浸泡 8~12 h 后趋于稳定<sup>[8]</sup>。不同森林类型间苔藓持水量差别较大<sup>[9]</sup>; 不同林龄间差异显著, 随林龄增大而增加。

收稿日期: 2013-12-08

修回日期: 2013-12-24

资助项目: 国家林业局“948”项目“半干旱区公益林可持续经营技术引进”(2013-4-72); 国家自然科学基金项目“兴隆山原始青杆纯林凋落物量及其持水性能研究”(31160180)

作者简介: 李国林(1973—), 男(汉族), 甘肃省榆中县人, 学士, 工程师, 主要从事森林资源管护工作。E-mail: 971230111@qq.com。

通信作者: 魏强(1974—), 男(汉族), 甘肃省渭源县人, 硕士, 副研究员, 主要从事森林生态学研究。E-mail: 1974weiqiang@163.com。

森林凋落物层由于结构疏松、透水性与持水能力强,能吸滞通过植被而降落在地面之水,在降水过程中起着缓冲器的作用,因此在森林涵养水源和保持水土过程中发挥着十分重要的作用<sup>[10]</sup>。凋落物层对降水的截留作用,主要体现在凋落物层蓄积量和持水能力两个方面<sup>[11]</sup>。凋落物累积量取决于植物群落生产力,同时依赖于气候、土壤肥力、土壤含水量和物种组成等因素<sup>[12-14]</sup>;凋落物持水能力取决于最大持水率及累积量<sup>[15]</sup>,不同地区、不同森林类型间最大持水量差异较大<sup>[16]</sup>。甘肃兴隆山原始青杆—白桦林和青杆林主要分布于坡度 $>25^\circ$ 的阴坡及半阴坡,林下苔藓层及凋落物层较厚,森林水土保持和水源涵养功能极强,苔藓凋落物层在其中发挥着重要的作用。目前,对该地区森林苔藓凋落物层累积量及持水性能对比研究较少。为此,本文以兴隆山青杆纯林、青杆—白桦针阔混交林为对象,研究林下苔藓凋落物累积量及持水特性的变化,旨在为兴隆山水源涵养林和水土保持林的可持续经营管理提供一定的理论依据。

## 1 研究区概况

甘肃兴隆山国家级自然保护区位于兰州市东南45 km处( $103^\circ50'—104^\circ10'E, 35^\circ38'—35^\circ58'N$ ),属

于祁连山的东延余脉,东西长37 km、南北宽17 km,总面积33 301  $hm^2$ ,包括兴隆山全部和马鞍山北麓,海拔1 800~3 670 m,是黄土高原最西端的一颗绿色岩岛。该区域属于温带半湿润半干旱气候类型,受地形及海拔高度的影响,研究区内气候差异较大,在海拔 $<1 800$  m区域,年均降水量350 mm;海拔在1 800~2 600 m区域,年降水量为400~600 mm;海拔在2 600~3 000 m,年降水量为600~800 mm<sup>[17]</sup>。地貌以石质山地和山间谷地为主要特征,土壤由高山草甸土、亚高山草甸土、灰褐土、栗钙土、黄绵土、新积土组成。保护区内森林类型主要有寒温性针叶林、落叶阔叶林、落叶阔叶灌丛林和常绿阔叶灌丛林,其中原始青杆林分布较广,是主要群系,平均林龄在200 a左右,生态系统较为稳定。

## 2 材料与方法

### 2.1 研究材料

在对兴隆山森林详细踏查的基础上,选该区域最为主要的青杆纯林、青杆—白桦针阔混交林为对象,进行林下苔藓层与凋落物层水文功能的研究。每种林分内各选5个标准样地(20 m $\times$ 20 m),调查环境与林分因子(表1)。

表1 兴隆山不同森林类型林地概况

森林类型	郁闭度/ %	海拔/ m	坡向	坡度/ ( $^\circ$ )	林龄/ a	平均胸径/ cm	平均树高/ m	林分密度/ (株 $\cdot$ $hm^{-2}$ )	土壤类型
青杆林	0.85	2 475	N	30	65	11.10	12.65	1 475	淋溶灰褐土
青杆—白桦林	0.65	2 477	NW25 $^\circ$	44	41	17.40	6.70	850	淋溶灰褐土

青杆纯林(简称青杆林),乔木层由青杆(*Picea wilsonii*)组成;灌木层由华西箭竹(*Fargesia nitida*)、红毛五加(*Eleutherococcus giraldii*)、山生柳(*Salix oritrepha*)等组成。其主要分布于兴隆山峡口和麻家寺海拔2 200~2 700 m的阴坡及半阴坡,面积约2 800  $hm^2$ 。林层由乔木层、灌木层、草被层和苔藓层组成,乔木层常由青杆组成,林下广布华西箭竹,随青杆龄林增大,林分密度逐渐减少(中龄林达400株/ $hm^2$ ),华西箭竹密度逐渐增大,最终形成青杆—华西箭竹森林类型。林带上部常有青海云杉、红桦与之混生;在海拔2 600~2 700 m以上的山地,青杆失去优势地位,成为青海云杉的伴生树种;在海拔2 200 m以下的某些地段,青杆以散生木状生长于灌丛之中。

青杆—白桦针阔混交林(简称青杆—白桦林),乔木层由青杆和白桦(*Betula platyphylla*)组成,树种组成比例为7青杆+3白桦;灌木层由华西箭竹、红毛五加、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、陕甘花楸

(*Sorbus koehneana*)、甘肃小檗(*Berberis kansuensis*)等组成。

### 2.2 研究方法

2.2.1 苔藓凋落物采集与蓄积量测定 在2种森林类型每个标准样地四角及中心5个位置设100 cm $\times$ 100 cm样方,全部收集苔藓、凋落物,装入塑料袋中并立刻称量,获得其鲜质量;同时,在样方四边随机各选10个点进行苔藓、凋落物总厚度的测定。将所收集的苔藓、凋落物样品带回实验室,自然风干、称量,得到单位面积苔藓和凋落物层干物质量。

2.2.2 苔藓凋落物最大持水率与持水过程测定 将自然风干的苔藓及凋落物分别装入100目15 cm $\times$ 20 cm的尼龙网袋中,每个网袋中装约50 g,每个处理5次重复。将网袋完全浸入清水中浸泡24 h,然后取出,悬挂在空中静置约5 min,当无水滴滴下时立刻称量,最后将袋中的苔藓及凋落物烘干(75  $^\circ C$ )称量,计算苔藓及凋落物最大持水率( $R_{max}$ )。

苔藓及凋落物持水量及吸水速率测定采用浸水法,具体方法及计算公式参考魏强等<sup>[18]</sup>进行。

2.2.3 苔藓凋落物持水能力测定 一般认为,苔藓及凋落物浸水 24 h 的持水量和持水率为最大持水量和最大持水率,这是一个理论值,但在现实中通常采用有效拦蓄量来估算苔藓层及凋落物层对降雨的实际拦蓄量,并取调整系数 0.85 来估算苔藓层及凋落物层的有效拦蓄量<sup>[19]</sup>。

苔藓及凋落物最大持水量:  $W_{\max} = M \times R_{\max}$  (1)  
式中:  $W_{\max}$ ——苔藓及凋落物最大持水量 ( $t/hm^2$ );  
 $M$ ——苔藓及凋落物累积量 ( $t/hm^2$ );  $R_{\max}$ ——苔藓及凋落物最大持水率 (%)。

苔藓及凋落物有效拦蓄量:

$$W_{sv} = (0.85 \times R_{\max} - R_0) \times M \quad (2)$$

式中:  $W_{sv}$ ——苔藓及凋落物有效拦蓄量 ( $t/hm^2$ );  
 $R_{\max}$ ——苔藓及凋落物最大持水率 (%);  $R_0$ ——苔藓及凋落物平均自然含水率 (%);  $M$ ——苔藓及凋落物累积量 ( $t/hm^2$ )。

表 2 不同森林类型苔藓凋落物累积量

森林类型	苔藓		凋落物		总厚度及累积量		总占比/%	
	厚度/ cm	蓄积量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	厚度/ cm	累积量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	厚度/ cm	蓄积量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	苔藓	凋落物
青杆林	3.00	2.23	4.10	22.43	7.10	24.66	9.04	90.96
青杆—白桦林	3.30	0.69	5.00	30.00	8.30	30.69	2.25	97.75

### 3.2 不同森林苔藓和凋落物持水过程

3.2.1 不同森林苔藓和凋落物持水率 研究结果表明(图 1),兴隆山 2 种森林苔藓层和凋落物层累积持水率在开始浸水时增加较快,0.5 h 后随浸水时间的不断增加,累积持水率增幅逐渐减慢,最后达到某一稳定值。对于苔藓层和凋落物层,在整个吸持水过程中,青杆—白桦林累积持水率均高于青杆林;苔藓层

### 2.3 数据处理

本文采用 Excel 软件绘图及数据处理。

## 3 结果与讨论

### 3.1 不同森林苔藓和凋落物厚度及累积量

由表 2 可以看出,兴隆山 2 种森林苔藓层厚度 3.00 和 3.30 cm,青杆—白桦林 > 青杆林;苔藓层生物量 0.69 和 2.23  $t/hm^2$ ,两种森林差别较大,青杆林是青杆—白桦林的 3.23 倍。凋落物层总厚度 4.1 和 5.00 cm,累积量 22.43 和 30.00  $t/hm^2$ ,青杆—白桦林均高于青杆林。就地表苔藓及凋落物层,总厚度 7.10 和 8.30 cm,总重量 24.66 和 30.69  $t/hm^2$ ,青杆—白桦林均高于青杆林。由此可以看出,对于青杆林,虽然苔藓层较厚、生物量较大,但苔藓层下的凋落物层较薄,累积量较小,因此苔藓凋落物总厚度及总量均小于青杆—白桦林。对于 2 种森林,在总量中苔藓层所占比例均小于 10%,由此说明凋落物层在地表物中是最为主要的部分。

累积持水率远高于凋落物层,表明苔藓层持水率高于凋落物层。对于最大持水率,青杆林和青杆—白桦林苔藓层分别为 410.60% 和 419.20%,而凋落物层依次为 248.15% 和 260.24%;苔藓层平均最大持水率是凋落物层的 1.63 倍。由此可以看出,苔藓层最大持水率明显高于凋落物层。

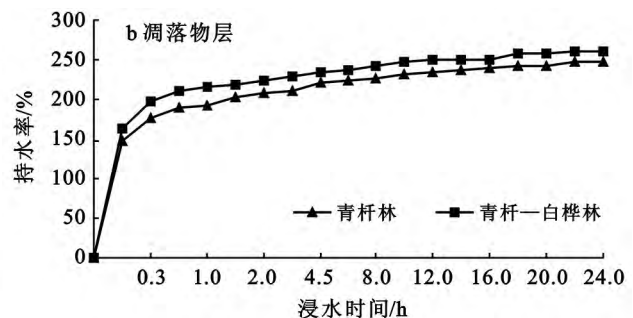
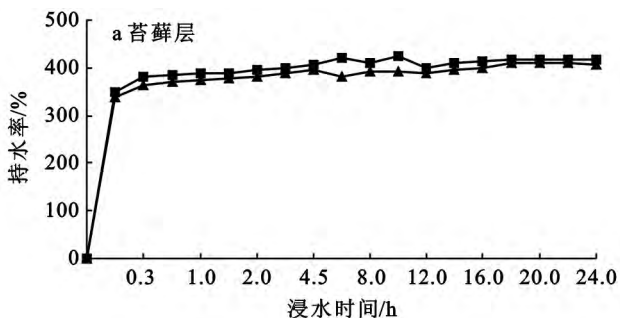


图 1 不同森林类型苔藓凋落物持水率与浸水时间的关系

3.2.2 不同森林苔藓和凋落物持水量 由图 2 可以看出,凋落物层和苔藓层持水量明显不同,凋落物层持水量远高于苔藓层。凋落物层和苔藓层持水量动

态变化规律基本一致,即随浸水时间的增加,凋落物和苔藓累积持水量不断增加,但前 10 min 内增速较快,30 min 后减慢,浸水 10 h 后持水量基本趋于某一

稳定值。苔藓层持水量,青杆林>青杆—白桦林,最大累积持水量分别为 0.91 和 0.29 mm;凋落物层持水量,青杆—白桦林>青杆林,2 种森林差别比较明显,最大累积持水量分别为 7.81 和 5.57 mm;凋落物层和苔藓层平均最大累积持水量为 0.60 和 6.69 mm,凋落物层是苔藓层的 11.15 倍;产生上述结果的原因是凋落物层累积量较大,苔藓层生物量较小所致。由此看出,对于地表层拦蓄降水功能而言,凋落物层明显要高于苔藓层,并且位于主导地位。

3.2.3 不同森林苔藓和凋落物吸水速率动态变化  
由图 3 看出,在浸水前 1.0 h 内,2 种森林苔藓层和凋

落物层吸水速率均呈直线下降趋势。在浸水 0~5 min 内,2 种森林凋落物层吸水速率差异较大,青杆—白桦林最大吸水速率为 59.83 mm/h,而青杆林为 39.97 mm/h;苔藓层间 2 种森林则无明显差别,分别为 42.12 和 40.82 mm/h。就苔藓层和凋落物层整个吸水过程而言,在浸水 1.0 h 后各森林吸水速率较小,不同时段间变化基本趋于稳定值,说明苔藓和凋落物在浸水的 1.0 h 内特别是 0.5 h 内吸水速率较快,苔藓和凋落物对降水拦蓄能力较强;在浸水 1.0 h 后随苔藓和凋落物持水量的不断增大,吸水速率不断减小,苔藓和凋落物拦蓄降水功能也明显减弱。

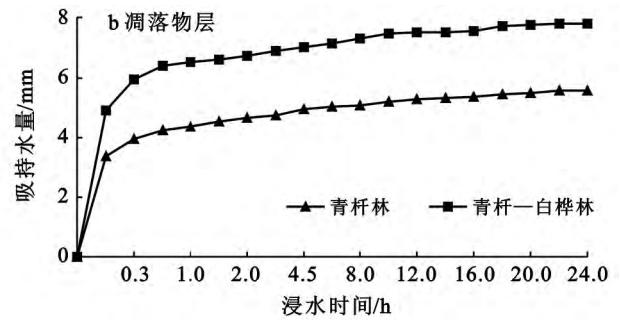
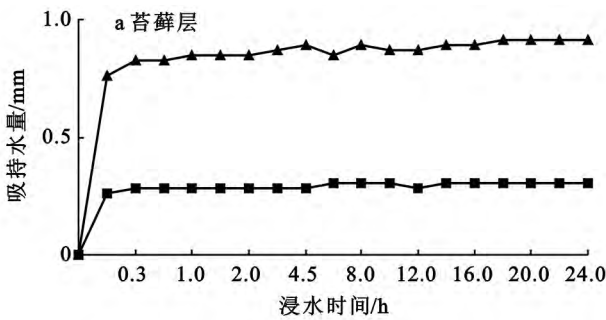


图 2 不同森林类型苔藓凋落物持水量与浸水时间的关系

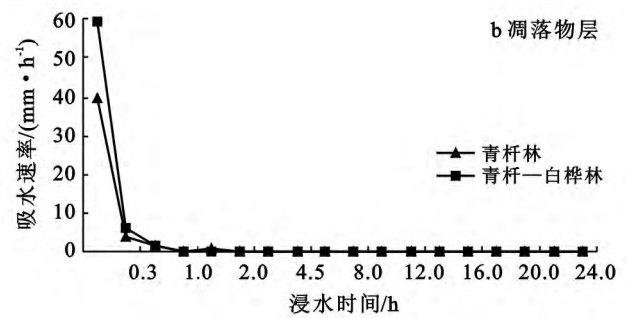
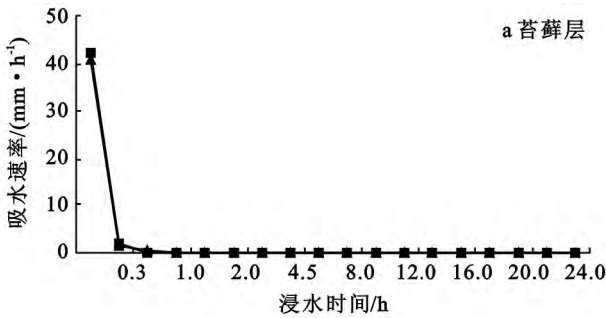


图 3 不同森林类型苔藓凋落物吸水速率与浸水时间的关系

3.3 不同森林苔藓和凋落物持水能力

由表 3 可以看出,苔藓层最大持水量 2.89 和 9.16 t/hm<sup>2</sup>,青杆林>青杆—白桦林;凋落物层最大

持水量为 55.67 和 78.06 t/hm<sup>2</sup>,青杆—白桦林>青杆林;凋落物层持水量远高于苔藓层,并且是苔藓层的 11.15 倍。

表 3 不同森林类型凋落物持水能力指标

森林类型	苔藓 (或凋落物)	蓄积量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	自然含水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	平均自然含水量/%	最大持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	最大持水率/%	最大拦蓄量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	最大拦蓄率/%	有效拦蓄量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	有效拦蓄率/%	有效拦蓄深/mm
青杆林	苔藓	2.23	0.17	7.77	9.16	410.60	8.99	402.99	7.61	341.24	0.76
	凋落物	22.43	4.28	19.06	55.67	248.15	51.39	229.11	43.04	191.87	4.30
青杆—白桦林	苔藓	0.69	0.08	11.82	2.89	419.20	2.81	407.02	2.38	344.50	0.24
	凋落物	30.00	6.67	22.25	78.06	260.24	71.39	237.97	59.69	198.95	5.97

研究表明(表 3),不同森林苔藓层最大拦蓄率 402.99%和 407.02%,青杆—白桦林>青杆林;苔藓层最大拦蓄量 2.81 和 8.99 t/hm<sup>2</sup>,青杆林是青杆—

白桦林的 3.20 倍,产生上述结果的原因是青杆林苔藓层量较大所致。凋落物最大拦蓄率 229.11%和 237.97%,青杆—白桦林>青杆林;凋落物最大拦蓄

量 51.39 和 71.39 t/hm<sup>2</sup>, 青杆—白桦林 > 青杆林。凋落物层最大拦蓄量高于苔藓层, 并且是苔藓层的 10.41 倍。

兴隆山 2 种森林苔藓层有效拦蓄率为 341.24% 和 344.50%, 青杆—白桦林 > 青杆林, 有效拦蓄量(深)为 0.24 和 0.76 mm, 青杆林 > 青杆—白桦林; 凋落物有效拦蓄率为 191.87% 和 198.95%, 有效拦蓄量(深)为 4.30 和 5.97 mm, 青杆—白桦林均高于青杆林。凋落物层有效拦蓄量高于苔藓层, 是苔藓层的 10.27 倍。

由上述可知, 对于青杆—白桦林和青杆林, 虽然苔藓层最大持水率、最大拦蓄率和有效拦蓄率均高于凋落物层, 但由于其累积量远小于凋落物层, 因此凋落物层最大持水量、最大拦蓄量和有效拦蓄量(深)均远大于苔藓层。由此可见, 凋落物层在对降水二次分配及吸持降水过程中发挥重要作用, 并且占主导地位, 而苔藓层位于次要地位。

## 4 结论

(1) 兴隆山青杆—白桦林和青杆林苔藓及凋落物层总厚度分别为 8.30 和 7.10 cm, 总重量依次是 30.69 和 24.66 t/hm<sup>2</sup>, 青杆—白桦林均高于青杆林。

(2) 2 种森林苔藓层最大持水率明显高于凋落物层, 但凋落物层持水量高于苔藓层, 是苔藓层的 11.15 倍; 苔藓及凋落物层持水量随浸水时间的增加而不断增加, 前 10 min 内增速较快, 30 min 后减慢, 浸水 10 h 后持水量基本趋于某一稳定值。

(3) 青杆—白桦林和青杆林凋落物层最大拦蓄量、有效拦蓄量远高于苔藓层; 凋落物层在对降水二次分配及在吸持降水过程中发挥重要作用, 并且占主导地位。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 彭耀强, 薛立, 曹鹤, 等. 三种阔叶林凋落物的持水性能[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 189-191.
- [2] 薛立, 何跃君, 屈明, 等. 华南典型人工林凋落物的持水特性[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 415-421.
- [3] 叶吉, 郝占庆, 于德永, 等. 苔藓植物生态功能的研究进展[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1939-1942.
- [4] 叶吉, 郝占庆, 戴冠华. 长白山暗针叶林苔藓植物生物量的研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(5): 737-740.
- [5] 张远东, 刘世荣, 马姜明, 等. 川西亚高山桦木林的林地水文效应[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2939-2946.
- [6] 徐振锋, 胡庭兴, 张远彬, 等. 川西亚高山几种天然林下苔藓层的持水特性[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 112-115.
- [7] 曹同, 高谦, 傅星. 长白山森林生态系统中苔藓植物蓄水量及其在水分循环中的作用[J]. 森林生态系统研究, 1994, 7(1): 73-79.
- [8] 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.
- [9] 张远东, 刘世荣, 马姜明. 川西高山和亚高山灌丛的地被物及土壤持水性能[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 2775-2782.
- [10] 赵艳云, 程积民, 万惠娥, 等. 六盘山不同森林群落地被物的持水特性[J]. 林业科学, 2009, 45(4): 145-150.
- [11] 吴波, 石培礼, 井学辉, 等. 大兴安岭东部林区植被蓄水潜力与价值的评估[J]. 林业科学研究, 2006, 19(6): 706-712.
- [12] Pausas J G. Litter fall and litter decomposition in *Pinus sylvestris* forests of the Eastern Pyrenees[J]. Journal Vegetation Science, 1997, 8(5): 643-650.
- [13] Antonietta F, Stefania P, Amodio F. Litter-fall and litter decomposition in a low Mediterranean shrubland[J]. Biology and Fertility of Soils, 2003, 39(1): 37-44.
- [14] Kara Ö, Bolat İ, Çakıroğlu K, et al. Plant canopy effects on litter accumulation and soil microbial biomass in two temperate forests[J]. Biology and Fertility of Soils, 2008, 45(2): 193-198.
- [15] Yoshinobu S, Tomo'omi K, Atsushi K, et al. Experimental analysis of moisture dynamics of litter layers: The effects of rainfall conditions and leaf shapes[J]. Hydrological Processes, 2004, 18(16): 3007-3018.
- [16] 叶吉, 郝占庆, 姜萍. 长白山暗针叶林苔藓枯落物层的降雨截留过程[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2859-2862.
- [17] 王香亭. 甘肃兴隆山国家级自然保护区资源本底调查研究[M]. 兰州: 甘肃民族出版社, 1996.
- [18] 魏强, 凌雷, 张广忠, 等. 甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2589-2598.
- [19] 雷瑞德. 秦岭火地塘林区华山松林水源涵养功能的研究[J]. 西北林学院学报, 1984, 1(1): 19-33.