

# 三峡库区天然次生林凋落物森林水文效应研究

王波<sup>1</sup>, 张洪江<sup>1</sup>, 杜士才<sup>2</sup>, 李根平<sup>3</sup>, 古德洪<sup>2</sup>, 韩西远<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 重庆市林业局, 重庆 401147)

**摘要:** 对三峡库区上游四面山 4 种天然次生林凋落物储量、分解强度及持水力进行了研究。结果表明, 4 种林分凋落物储量最大的是天然阔叶林 (107.09 t/hm<sup>2</sup>), 天然针阔混交林 (70.18 t/hm<sup>2</sup>) 和天然针叶林 (66.65 t/hm<sup>2</sup>) 次之, 楠竹林 (35.37 t/hm<sup>2</sup>) 最小; 凋落物最大持水量和持水力均呈现出天然针阔混交林 (89.95 t/hm<sup>2</sup>, 2.25) 最大, 天然阔叶林 (67.33 t/hm<sup>2</sup>, 1.89) 次之, 而天然针叶林 (39.83 t/hm<sup>2</sup>, 1.66) 和楠竹林 (28.07 t/hm<sup>2</sup>, 1.85) 较差的趋势。因此, 从凋落物持水特征来分析, 4 种天然次生林中, 天然针阔混交林的森林水文效应最好, 其次是天然阔叶林, 而楠竹林和天然针叶林均较差, 不适宜在该区域内的水土保持植被建设中应用。

**关键词:** 三峡库区; 天然次生林; 凋落物; 森林水文效应; 持水特性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)03-0083-05

中图分类号: S714.7

## Forest Hydrological Effects of Litter Layers Under Different Natural Secondary Forest in Three Gorges Reservoir Area

WANG Bo, ZHANG Hong-jiang<sup>1</sup>, DU Shi-cai, LI Gen-ping<sup>2</sup>, GU De-hong<sup>2</sup>, HAN Xi-yuan<sup>2</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University,

Beijing 100083, China; 2. Forestry Administration of Chongqing Municipality, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** Litters' reserves, decomposition intensity, and water holding ability of four kinds of natural secondary forest in Simian Mountain, the upper area of Three Gorges Reservoir were studied. Results showed that the litters' reserve of broad-leaved forest was 107.09 t/hm<sup>2</sup>, which was the highest among the four kinds of forest litters, and it was followed by coniferous & broad-leaved mixed forest (70.18 t/hm<sup>2</sup>) and coniferous forest (66.65 t/hm<sup>2</sup>). The litters' reserve of *Phyllostachys pubescens* forest was the worst, which was only 35.37 t/hm<sup>2</sup>. The litters' max water holding capacity and water holding ability of coniferous & broad-leaved mixed forest were the best among the four kinds of forest litters (89.95 t/hm<sup>2</sup>, 2.25); those of broad-leaved forest was second (67.33 t/hm<sup>2</sup>, 1.89); those of coniferous forest was third (39.83 t/hm<sup>2</sup>, 1.66); and those of *Phyllostachys pubescens* forest was the lowest (28.07 t/hm<sup>2</sup>, 1.85). In terms of litters' water holding characteristic, forest hydrological effects of coniferous & broad-leaved mixed forest were the best among the four kinds of experimental natural secondary forest, and the effects of broad-leaved forest were better. The effects of coniferous forest and *Phyllostachys pubescens* forest were poor, which were not suitable to be popularized in the vegetation construction for soil and water conservation in the area.

**Keywords:** Three Gorges Reservoir area; natural secondary forest; litter; forest hydrological effect; water holding characteristic

森林因其特殊的层次结构、生物量、持水及土壤结构等特性而具有较好的涵养水源、保持水土等功能<sup>[1-3]</sup>, 其功能的发挥与森林凋落物密切相关<sup>[4]</sup>。而

凋落物层作为森林生态系统中独特的结构层次, 不仅对森林土壤发育和改良有重要意义, 而且其结构疏松、透水性和持水能力良好, 在降水过程中可以有效

收稿日期: 2008-09-12

修回日期: 2008-11-27

基金项目: 国家自然科学基金项目“长江三峡花岗岩地区优先流运动机理研究”(40771042); 国家林业科技支撑计划“三峡库区低山丘陵区水土保持型植被建设技术试验示范”(2006BAD03A1304); 国家林业局 948 项目“森林系统水文生态效益监测与模拟技术”(2006-04-26)

作者简介: 王波 (1981—), 男 (汉族), 宁夏回族自治区吴忠市人, 博士生, 主要从事水土保持与森林水文研究。E-mail: nxmen@126.com。

通信作者: 张洪江 (1955—), 男 (汉族), 河北省易县人, 博士, 教授, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: zhanghj@bjfu.edu.cn。

减少地表径流,起着缓冲器的作用<sup>[5]</sup>。目前,国内外对不同区域、不同林分组成林下凋落物的森林水文效应进行了大量的研究,而且在凋落物的凋落量、凋落动态、养分特性、分解速率、截持降水,影响地表径流和土壤侵蚀机理等方面都取得了一定成果<sup>[6-9]</sup>。关于凋落物分解对土壤有机碳的固定,地上/地下凋落物的物理、化学和生物学过程及其对各种生态因子(如冻融、干湿交替)及交互作用的响应,凋落物分解对全球气候变化的响应机制等进行了一定的研究。但对长江三峡库区上游地区不同类型林分林下凋落物储量及其水文特性研究报道较少<sup>[10-12]</sup>。

本文就三峡库区上游重庆四面山地区 4 种天然次生林凋落物层的森林生态水文功能进行定量研究,旨在进一步科学评价凋落物在森林生态系统中的功能,为探索适合该区域水土保持型植被的建造模式提供理论与实践指导。

## 1 自然概况

研究区位于三峡库区上游重庆市江津区南部四面山张家山林区,北纬 28°31′—28°46′,东经 106°17′—106°30′。地势南高北低,海拔 900~1 500 m。

研究区属亚热带季风性气候,温暖湿润,雨量充沛,四季分明。多年平均气温 13.7℃,月平均最高、最低气温为 8 月和 1 月,分别达 31.5℃ 及 -5.5℃。

多年平均降雨量 1 522.3 mm,日最大降雨量 160.5 mm,雨季集中在 5—9 月,占年平均降雨量的 62.2%。降雨量变化较大,海拔每上升 100 m,降雨量递增 43.3 mm。研究区内无霜期 285 d,年平均日照时数 1 082.7 h,生长季 5—9 月份日照时数约为全年日照时数的 64%。

四面山属典型丹霞地貌,研究区内林地土壤主要类型有:黄棕壤、黄壤等。该区地势较陡,土层厚度一般在 10~70 cm 之间,多呈微酸性至酸性。

研究区植被为典型亚热带常绿针叶、阔叶林,以天然次生林为主,兼有部分人工林。主要乔木树种有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、木荷(*Schima superba*)、福建柏(*Fokienia hodginsii*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、紫花杜鹃(*Rhododendron mariae*)和楠竹(*Phyllostachys pubescens*)等。

研究地点选择在四面山张家山林区,该区林分主要由天然次生林和人工林组成。在不同的植被类型内,选取天然针叶林、天然阔叶混交林、天然针阔混交林及楠竹林 4 种天然次生林为试验林分(注:下文分别简称为针叶林、阔叶林、针阔混交林及楠竹林),各林分样地海拔在 1 100~1 200 m 之间,且林龄均大于 20 a(表 1)。

表 1 4 种林分基况及植物种组成

样地编号	林分类型	海拔	郁闭度	坡度/(°)	坡向	主要植物组成	
						乔木树种	下木灌草种
1	针叶林	1 171.0	0.52	27.0	西北	杉木、马尾松、福建柏	紫萁、芒萁、地瓜藤
2	阔叶林	1 160.9	0.74	36.0	东南	毛萼紫薇、润楠、茶条果、新木姜子	三脉紫苑、紫萁、芒草、紫花杜鹃
3	针阔混交	1 160.0	0.65	38.5	西北	杉木、马尾松、马尾松、细齿叶柃	四川山矾、八角、木荷
4	楠竹林	1 166.0	0.56	36.0	西南	楠竹	贵州鼠李、地瓜藤、短柱柃、棕叶狗尾草

## 2 研究内容与方法

### 2.1 凋落物分层与采集

一般认为,凋落物的未分解层是指基本上保持其原有形状及质地的枯枝落叶;半分解凋落物系指植物残体只有部分组织残片尚保持其原来形态;分解层是指凋落物完全分解腐烂,连片的有机的污黑物质,看不出植物残体的痕迹<sup>[13]</sup>。本试验对 4 种不同林地分坡面上部、中部、下部各取面积为 50 cm × 50 cm 的凋落物样方 3 个。采取凋落物时,将未分解层、半分解层和分解层分别收集,并现场记录各层厚度,以用于测定凋落物储量及测定其持水量和吸水速率。

### 2.2 凋落物持水量及其吸水速率测定

本试验采用室内浸泡法<sup>[10-12]</sup>测定各林分凋落物的持水量及其吸水速率。

首先,将所采集的凋落物进行烘干(75℃,12 h)并称量;然后将称重后的凋落物按原状放入预先做好的细孔纱布袋(纱布袋预先称重、标记);再将装有凋落物的纱布袋完全浸没于盛有清水的容器中;待凋落物浸泡 0.5 h 后,将凋落物连同纱布袋一并取出,静置 5 min,至凋落物不滴水时,迅速称凋落物的湿重;之后,分别待浸泡 1,1.5,2,3,4,5,6,12,24 h 时,将凋落物连同沙布袋一并取出静置后称重,称重方法如

上。每次从浸泡容器中取出称重所得凋落物湿重与浸水前总干重(包括凋落物和纱布袋的干重)的差值,即为凋落物浸泡不同时间的吸水量,该差值与浸水时间的比值即为该时刻凋落物的吸水速率。

本文以凋落物浸泡 24 h 后的持水量作为凋落物最大持水量<sup>[14]</sup>,而将达到最大持水量时凋落物湿重与凋落物干重之比称为凋落物最大吸湿比(简称吸湿比),来表征凋落物持水力的大小<sup>[12]</sup>。

同时,为了解不同林分凋落物的累积与分解特征,引入凋落物分解强度这一指标,设  $A_1$ ,  $A_2$  和  $A_3$  分别代表未分解层、半分解层和分解层的储量,则用绝对比值  $(A_2 + A_3)/A_1$  来表征林分凋落物层整体的绝对分解强度,用相对比值  $(A_2 + A_3)/(A_1 + A_2 + A_3)$  来表征凋落物层整体的相对分解强度,两种分解强度具有一致性,并且其值越大,分解强度也越大<sup>[9]</sup>。

将每一种林分林下凋落物不同层次的样品,分别按照上述方法进行处理,每种 3 个重复。将所得试验

结果,经上述方法处理、分析,即可得到该林分林下凋落物不同分解层次的储量、持水量、吸水速率及吸湿比。

### 3 结果与分析

#### 3.1 凋落物的储量与分解特性

3.1.1 不同林分凋落物储量及组成 林分类型不同,林下凋落物的数量和组成也不一样。从表 2 可以看出,4 种林分凋落物数量有一定差别,总储量最大的是阔叶林( $107.09 \text{ t}/\text{hm}^2$ ),其后依次是针阔混交林( $70.18 \text{ t}/\text{hm}^2$ )和针叶林( $66.65 \text{ t}/\text{hm}^2$ ),楠竹林最少,仅为  $35.37 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。

就不同分解层凋落物的储量而论,尽管半分解层变化有所差异,但占林分凋落物总量 80% 以上的未分解和分解层均表现出与总储量相同的变化趋势,因此分层凋落物储量总趋势也为阔叶林 > 针阔混交林 > 针叶林 > 楠竹林。

表 2 不同林分凋落物储量组成及其分解特性

样地 编号	林分类型	总储量/ ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	未分解层		半分解层		分解层		分解强度	
			占总储量 比例/ %	储量/ ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	占总储量 比例/ %	储量/ ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	占总储量 比例/ %	储量/ ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	绝对 强度	相对 强度
1	针叶林	66.65	10.88	7.25	20.65	13.760	68.480	45.640	8.190	30.891
2	阔叶林	107.09	8.08	8.65	9.37	10.030	82.560	88.410	11.380	0.919
3	针阔混交林	70.18	8.29	5.82	12.43	8.720	79.280	55.640	11.058	0.917
4	楠竹林	35.37	10.40	3.68	21.35	7.550	68.250	24.140	8.611	0.896

3.1.2 不同森林类型凋落物分解特性 凋落物的分解强度是决定其累积量及其水文特性的重要因素之一<sup>[9]</sup>。如表 2 所示,4 种林分的绝对和相对分解强度变化规律相同,均为阔叶林最大(11.380,0.919),针阔混交林(11.058,0.917)次之,楠竹林(8.611,0.896)和针叶林(8.193,0.891)最小。

#### 3.2 不同层次凋落物的持水特性

3.2.1 凋落物吸水速率与持水量 在凋落物浸水初期的 1 h 内,各林分凋落物的吸水速率均呈“急剧上升—急剧下降”,之后缓慢下降(图 1)。综合比较 4 种林分及其各分解层次的吸水率,结果发现,针阔混交林的凋落物吸水速率最大,阔叶林和针叶林次之,而楠竹林较小。

而在浸泡 24 h 的过程中,随着浸泡时间的延长,各林分的凋落物持水量不断增加。在初始浸水 0.5 h 后,凋落物持水量开始迅速增长;浸水 5~6 h 后,凋落物持水量基本趋于饱和,即 5~6 h 后随浸水时间的增加,凋落物持水量变化很小,其总体变化趋势

与凋落物吸水速率规律相同,也呈现出“针阔混交林 > 阔叶林 > 针叶林 > 楠竹林”的规律(图 1)。而对于不同分解层的持水量,则表现出与各层凋落物总储量相对应的“未分解层 < 半分解层 < 分解层”规律。

#### 3.2.2 不同分解层次凋落物最大持水能力

(1) 不同分解层次凋落物最大持水量。持水量表征凋落物实际吸持水分的数量,如表 3 所示,试验研究的 4 种林分中,针阔混交林的 24 h 最大持水量最大,为  $89.95 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。其次是阔叶林( $67.33 \text{ t}/\text{hm}^2$ )和针叶林( $39.83 \text{ t}/\text{hm}^2$ )。而楠竹林最小,仅为  $28.07 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。

就各分解层来看,4 种林分各层变化规律基本相同,即阔叶林 > 针阔混交林 > 针叶林 > 楠竹林。各林分凋落物分解层持水量最大,而且明显大于未分解层和半分解层,半分解层 > 未分解层的最大持水量。但是对于阔叶林和针阔混交林,其分解层的最大持水量与前两个层次相反,即为针阔混交林( $47.01 \text{ t}/\text{hm}^2$ ) > 阔叶林( $25.38 \text{ t}/\text{hm}^2$ )。

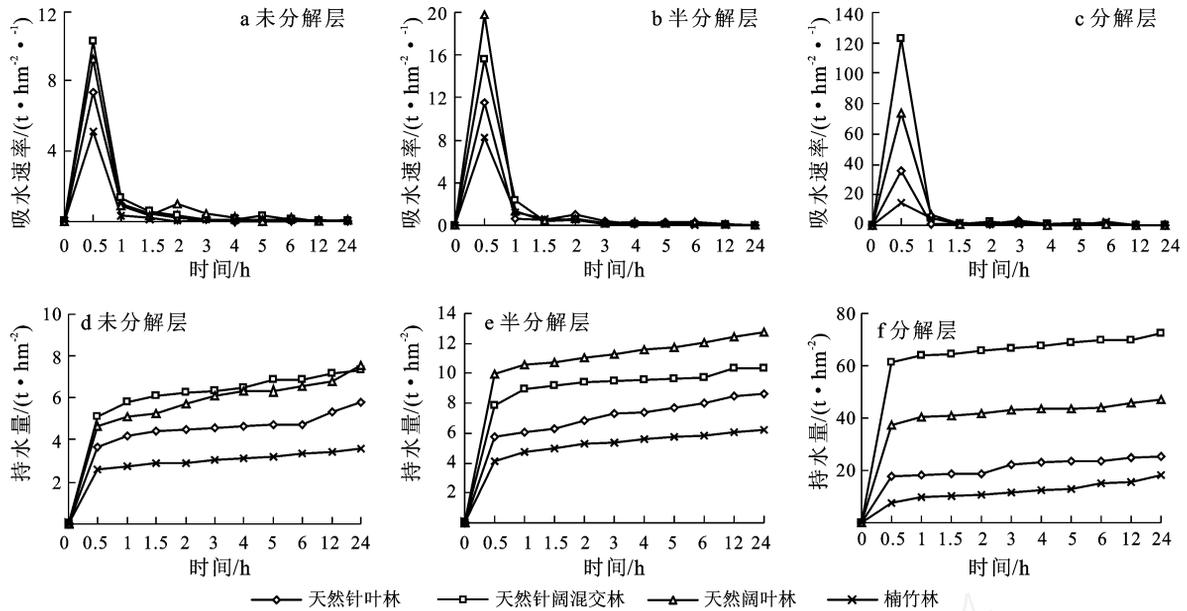


图 1 4 种林分不同层次凋落物吸水速率与持水速率

表 3 不同林下凋落物 24 h 最大持水量

样地编号	林分类型	各分解层总持水量/ $(t \cdot \text{hm}^{-2})$	平均吸湿比	未分解层		半分解层		分解层	
				最大持水量/ $(t \cdot \text{hm}^{-2})$	吸湿比	最大持水量/ $(t \cdot \text{hm}^{-2})$	吸湿比	最大持水量/ $(t \cdot \text{hm}^{-2})$	吸湿比
1	针叶林	39.83	1.66	5.81	1.80	8.64	1.63	25.38	1.53
2	阔叶林	67.33	1.89	7.57	1.97	12.75	2.27	47.01	1.76
3	针阔混交	89.95	2.25	7.32	2.26	10.33	2.18	72.30	2.30
4	楠竹林	28.07	1.85	3.57	1.88	6.25	1.83	18.24	1.56

需要指出的是,文中所研究的凋落物持水量、吸水速率是指试验各林分实际储量下的凋落物的持水量及吸水速率,因而与以往的此类研究结果有所不同<sup>[15-17]</sup>。

(2) 不同分解层次凋落物持水力。持水力是真实反映植物凋落物吸持水分能力的重要指标之一,而作为反映凋落物持水力的吸湿比,其数值的大小,表征着凋落物吸持水分能力强弱,保水、涵养水源功效的显著与否<sup>[15]</sup>。因此,结合表 3 所示的实测吸湿比数据,4 种林分凋落物未分解层的持水力(吸湿比)呈现出针阔混交林(2.25) > 阔叶林(1.89) > 楠竹林(1.85) > 针叶林(1.66)的变化趋势,而且各分解层凋落物的持水力(吸湿比),也表现出未分解层 > 半分解层 > 分解层的变化规律。

## 4 结论

(1) 4 种天然林凋落物的储量和组成均以分解层为主,半分解层次之,未分解层最少。各林分凋落物总储量表现为天然阔叶林( $107.09 \text{ t}/\text{hm}^2$ )最大,天然针阔混交林( $70.18 \text{ t}/\text{hm}^2$ )和天然针叶林

( $66.65 \text{ t}/\text{hm}^2$ )次之,楠竹林最小,仅为  $35.37 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。而且 4 种天然林凋落物的分解强度:天然阔叶林 > 天然针阔混交林 > 楠竹林 > 天然针叶林。这与许多学者所研究的不同林地林下凋落物储量特征基本一致<sup>[9,18-19]</sup>。这说明天然阔叶林林下凋落物具有良好的水文效应,这与试验地各林分的实际生长状况相吻合。究其原因,是由于本研究所选取的针阔混交林其混交比例中针叶树种明显占优,叶量丰富的阔叶树种较少,导致其储量少于阔叶林。且由于针叶树和楠竹其叶不易分解,因此储量最大的分解层其储量也较少。

(2) 不同分解层次的凋落物,其吸持水量均表现为初始浸水 0.5 h 后,凋落物持水量开始迅速增长;浸水 5~6 h 后,凋落物持水量趋于饱和。4 种天然林凋落物吸持的水分呈现出“天然针阔混交林 > 天然阔叶林 > 天然针叶林 > 楠竹林,分解层 > 半分解层 > 未分解层”。这与许多学者研究结果一致<sup>[10-12,18-19]</sup>,但与上述储量结论略有差异。比较天然针阔混交林和天然阔叶林,尽管前者阔叶树种所占比例小,导致其整体凋落物储量少,但针阔树种混交有利于改善其

凋落物理化性质,从而提高其持水能力。这一推论尚需今后进一步研究证实。

(3) 凋落物的持水力可以用吸湿比来反应,4种林分凋落物未分解层的吸湿比(持水力)呈现出天然针阔混交林>天然阔叶林>楠竹林>天然针叶林的趋势,而且不同分解层凋落物也表现出未分解层>半分解层>分解层的基本规律,这与其他学者的不同凋落物持水能力研究结果基本一致<sup>[10-11]</sup>。但是楠竹林的持水力优于天然针叶林,与最大持水量楠竹林小于天然针叶林相异,这是由于持水量是利用各林分凋落物实际储量计算求得的,而作为真实反映植物凋落物吸持水分能力的重要指标之一的持水力,表征着凋落物实际吸持水分能力的大小。由于各林分树种不同,凋落物自身叶片结构、化学组成及分解情况有着很大差异,针叶树种凋落物体积较小、个体分散度大,而且含有较多的油脂,不易分解。相对而言,阔叶树种则易于分解,更易吸持水分。因而两者之间存在一定差异。

综上所述,从凋落物持水特征来分析,试验研究的4种天然次生林中,森林水文效应最好的是天然针阔混交林,其次是天然阔叶林,而楠竹林和天然针叶林较差。由于本项研究仅针对凋落物的持水性能,并没有涉及凋落物其它方面的水文效应。因此,为充分了解凋落物的水土保持、涵养水源功能,模拟研究各类凋落物的阻延径流时间,抑制土壤蒸发,提高土壤抗冲性等水文水土保持功能研究,将是本研究今后的重点任务。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 喻荣岗,左长清,杨洁,等.红壤侵蚀区几种水土保持林水文效应研究[J].水土保持通报,2007,27(6):194-198.
- [2] 吴钦孝,赵鸿雁.黄土高原森林水文生态效应和林草适宜覆盖指标[J].水土保持通报,2000,20(5):32-34.
- [3] 李红云,杨吉华,鲍玉海,等.山东省石灰岩山区灌木林凋落物持水性能的研究[J].水土保持学报,2005,19(1):44-48.
- [4] 陈奇伯,解明曙,张洪江.森林枯落物影响地表径流和土壤侵蚀研究动态[J].北京林业大学学报,1994,16(增刊):88-97.
- [5] 庞学勇,包维楷,张咏梅.岷江上游中山区低效林改造对枯落物水文作用的影响[J].水土保持学报,2005,19(4):119-123.
- [6] Richard Lee, Granillo A B. Soil protection by natural vegetation on clear cut forest land in Arkansas [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1985,40(4):379-382.
- [7] 刘世荣,孙鹏森,王金锡,等.长江上游森林植被水文功能研究[J].自然资源学报,2001,16(5):451-456.
- [8] 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.
- [9] 崔鸿侠,张卓文,李振芳.巴东县不同森林类型林下灌草和凋落物水文效应研究[J].水土保持研究,2007,14(50):181-183.
- [10] 程金花,张洪江,史玉虎.三峡库区几种林下凋落物的水文作用[J].北京林业大学学报,2003,25(2):8-13.
- [11] 张洪江,程金花,史玉虎,等.三峡库区3种林下凋落物储量及其持水特性[J].水土保持学报,2003,17(3):55-59.
- [12] 王波,张洪江,徐丽君,等.四面山不同人工林枯落物储量及其持水特性研究[J].水土保持学报,2008,22(4):90-94.
- [13] 罗札诺夫.土壤形态学[M].北京:科学出版社,1988:122.
- [14] 韩同吉,裴胜民,张光灿,等.北方石质山区典型林分枯落物层涵养水分特征[J].山东农业大学学报:自然科学版,2005,36(2):275-278.
- [15] 马雪华,杨茂瑞.亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究[C]//林业部科技司.中国森林生态系统定位研究.哈尔滨:东北林业大学出版社,1994:346-353.
- [16] 刘尚华,冯朝阳,吕世海,等.京西百花山区6种植物群落凋落物持水性能研究[J].水土保持学报,2007,21(6):179-182.
- [17] 杨万勤,邓仁菊,张健.森林凋落物分解及其对全球气候变化的响应[J].应用生态学报,2007,18(12):2889-2895.
- [18] 罗辑,程根伟,宋孟强,等.贡嘎山峨眉冷杉林凋落物的特征[J].植物生态学报,2003,27(1):59-65.
- [19] 任泳红,曹敏,唐建维,等.西双版纳季节雨林与橡胶多层林凋落物动态的比较研究[J].植物生态学报,1999,23(5):418-425.