

网络出版时间:2012-03-21 17:34

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120321.1734.017.html>

# 林分密度对枯落物层持水特性的影响

贺宇, 丁国栋, 梁文俊, 臧荫桐, 高广磊, 安云

(北京林业大学水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

**【摘要】** 【目的】探讨林分密度对枯落物层持水特性的影响。【方法】以燕山山地不同林分密度(650(40年生), 1 400(35年生), 1 850(38年生)株/hm<sup>2</sup>)的油松人工林为研究对象, 在其下设置标准地, 测定枯落物层厚度和蓄积量, 并将枯落物带回, 采用室内浸泡法测定不同林分密度下枯落物层的持水特性。【结果】3种密度油松人工林枯落物层蓄积量为 26.62~49.79 t/hm<sup>2</sup>; 在林龄相差不大的情况下, 650, 1 400 和 1 850 株/hm<sup>2</sup> 油松人工林枯落物层蓄积量与林分密度呈现正相关关系。油松人工林枯落物层自然含水量随林分密度变化不明显, 在 50% 左右; 3种密度林分的饱和持水率无明显的规律性。枯落物层持水量与浸水时间呈对数关系; 吸水速率与浸水时间呈幂函数关系。枯落物层对降雨的拦蓄能力与其林分密度呈正相关关系。【结论】对于林龄接近、立地条件相似的油松人工林而言, 密度越大, 其林下枯落物总蓄积量越大, 枯落物层对于降雨的拦蓄作用也越强。

**【关键词】** 油松人工林; 枯落物; 持水特性; 燕山山地

**【中图分类号】** S715.3

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2012)04-0068-05

## Influence of stand density on water-holding characteristics of litter layer

HE Yu, DING Guo-dong, LIANG Wen-jun, ZANG Yin-tong,  
GAO Guang-lei, AN Yun

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Combating Desertification, Ministry of Education,  
School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** 【Objective】 This paper is to discuss the influence of stand density on litter water-holding characteristics. 【Method】 Take Pine plantations of different stand densities((650(40a), 1 400(35a), 1 850(38a)/hm<sup>2</sup>)) in Yanshan Mountain as the research object, we set standard plots, measured the depth and accumulation volume of the litter and brought these litters back, and used indoor immersion method to measure litter water-holding characteristics under different stand densities. 【Result】 Litter's accumulation volume of these pine plantations is 26.62—49.79 t/hm<sup>2</sup>. If stand age is not the case, litter accumulation and stand density will show a positive correlation in density of 650, 1 400, 1 850 plant/hm<sup>2</sup>. The natural moisture content of *Pinus tabulaeformis* forest plantation in this study is around 50% and it does not change significantly with stand density, while saturated water-holding rate does not show any obvious regularity with stand density. Water-holding capacity of litter and soaking time have logarithmic relationship, while the relationship of water absorption rate and soaking time is power function. Litter's ability to intercept and accumulate rainfall is positively associated with stand density. 【Conclusion】 For those *Pinus tabulae*

\* [收稿日期] 2011-10-20

[基金项目] 国家林业局林业公益性行业科研项目“典型区域森林生态系统健康维护与经营技术研究”(200804022A)

[作者简介] 贺宇(1987—), 女, 内蒙古鄂尔多斯人, 在读硕士, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。

E-mail: heyu\_bjfu@bjfu.edu.cn

[通信作者] 丁国栋(1963—), 男, 满族, 内蒙古赤峰人, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。

E-mail: dch1999@263.net

formis forest plantation with similar age and standing conditions, both accumulation volume of litter and its capacity of intercepting rainfall will be much greater as stand density increases.

**Key words:** *Pinus tabulaeformis* plantation; litter; water-holding characteristics; Yanshan mountain

森林的林冠层和枯落物层是森林水文功能的2个重要层次,其既能吸附、截留一定量的降雨,又能有效减轻或防止雨水冲击和侵蚀土壤<sup>[1]</sup>,特别是枯落物层,它是森林生态系统的重要组成部分<sup>[2]</sup>,可使森林更好地发挥涵养水源和保持水土的作用。研究枯落物层的持水特性对于进一步了解其水文功能具有重要意义。国内外学者对不同森林类型的林地枯落物层水文功能已经做了大量的研究<sup>[3-8]</sup>,但这些研究多集中于枯落物特征、持水特性及其分解过程等方面,而有关林分密度对枯落物层持水特性影响的报道较少。为此,本试验从不同林分密度油松人工林林下枯落物层特点和水文功能角度出发,探讨了林分密度对油松枯落物层持水特性的影响,以期为油松人工林的健康经营提供依据。

## 1 研究区概况

本研究在位于河北省木兰围场林管局所辖的北沟林场内进行。木兰林管局地处阴山山脉、大兴安岭山脉余脉向西南延伸和燕山山脉的结合部,地理坐标  $41^{\circ}47' \sim 42^{\circ}06' N$ ,  $116^{\circ}51' \sim 117^{\circ}45' E$ ,海拔  $750 \sim 1\,829\text{ m}$ ,自然坡度  $1/150 \sim 1/350$ 。研究区属中温带向寒温带过渡、半干旱向半湿润过渡地带,气候属于大陆性季风型高原山地气候,年平均气温  $-1.4 \sim 4.7\text{ }^{\circ}C$ ,极端最高气温  $38.9\text{ }^{\circ}C$ ,极端最低气温  $-42.9\text{ }^{\circ}C$ ,年无霜期  $67 \sim 128\text{ d}$ ;年均降水量  $380 \sim 560\text{ mm}$ ,主要集中在6、7、8月,这3个月的降水量占全年降水量的69%,其中7月份降水量占全年降水量的31%;年均蒸发量  $1\,462.9\text{ mm}$ ;平均相对湿度63%。研究区森林覆盖率高达75%。

## 2 研究方法

本试验林分密度采用单位面积( $1\text{ hm}^2$ )内的立木株数来表示。选取具有代表性且密度分别为650(40年生),1400(35年生),1850(38年生)株/ $\text{hm}^2$ 的油松人工林设置标准地。在2009-06、2010-06—2010-09,完成了各样地的调查工作以及枯落物层蓄积量的测定、枯落物采集和室内浸泡试验。

### 2.1 枯落物蓄积量的测定

在每个样地坡上、坡中、坡下3个位置各设置1个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  的小样方,测定每个样方内枯落物层

总厚度、未分解层厚度和半分解层厚度,取其平均值作为样地内枯落物层厚度。按照分解程度,分别收集半分解层和未分解层的枯落物,尽量保持原状将其带回实验室,称量样品鲜质量和烘干质量,用单位面积枯落物的烘干质量来表示蓄积量。

### 2.2 自然含水量的测定

枯落物自然含水量按照以下公式计算:  $C = (m_1 - m_2) / m_2 \times 100\%$ 。式中:  $C$  为枯落物自然含水量(%);  $m_1$  为样品鲜质量(g);  $m_2$  为样品烘干质量(g)。

### 2.3 持水量、吸水速率和饱和持水率的测定

采用室内浸泡法测定枯落物的持水量、吸水速率和饱和持水率。将烘干的枯落物样品装入网袋浸入水中,分别在浸泡0.25,0.5,1,2,4,6,8,10和24h时取出枯落物,沥干至不再滴水时称量质量。每次称量的质量与其烘干质量之间的差值即为该时段枯落物的持水量,持水量与持水时间的比值即为该时段枯落物的吸水速率。

枯落物浸泡24h的持水量为最大持水量,与其相对应的持水率为饱和持水率( $S$ ),计算公式为:  $S = (m_3 - m_2) / m_2 \times 100\%$ 。式中:  $m_3$  为样品浸水24h后的质量(g)。

### 2.4 最大拦蓄量和有效拦蓄量的测定

枯落物的最大拦蓄量和有效拦蓄量分别采用以下公式计算:

$$W_m = (R_m - R_0)M,$$

$$W = (0.85R_m - R_0)M.$$

式中:  $W_m$  为枯落物的最大拦蓄量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ),  $W$  为枯落物的有效拦蓄量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ),  $R_m$  为最大持水率(%),  $R_0$  为平均自然含水量(%),  $M$  为枯落物蓄积量( $\text{t}/\text{hm}^2$ )。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同密度油松人工林枯落物层的厚度与蓄积量

林分枯落物输入量和分解程度是影响枯落物蓄积量的主要因子,而这2个因子又是其他多种因素共同作用的结果<sup>[9-10]</sup>,例如林分树种组成、林龄、林木生长状况等均影响着枯落物的输入量;季节变化、气候因子以及人为活动可加速或减缓枯落物的分解

速率,从而影响枯落物层的厚度和蓄积量。

由表 1 可知,3 种密度油松人工林枯落物层总蓄积量为 26.62~49.79 t/hm<sup>2</sup>,处于寒温带和暖温带森林总蓄积量(10.27~62.50 t/hm<sup>2</sup>)<sup>[8]</sup>的变化范围之内,密度为 1 850 株/hm<sup>2</sup>的样地枯落物层总蓄积量最大(49.79 t/hm<sup>2</sup>),密度为 650 株/hm<sup>2</sup>的样地枯落物层总蓄积量最小(26.62 t/hm<sup>2</sup>);样地枯落物层总蓄积量与林分密度呈现出正相关关系。枯落物层总厚度以密度 1 850 株/hm<sup>2</sup>的样地最大,为 8.6 cm;林分密度为 1 400 株/hm<sup>2</sup>的样地枯落物层总厚度最小,为 6.1 cm。不同林分密度油松人工林

表 1 不同密度油松人工林枯落物层的厚度与蓄积量

Table 1 Depth and volume of litter layer under different densities of pine plantations

林分密度/ (株·hm <sup>-2</sup> ) Stand density	林龄/年 Forest age	总厚度/cm Total depth	未分解层 厚度/cm Undecom posed layer depth	半分解层 厚度/cm Semi- decomposed layer depth	总蓄积量/ (t·hm <sup>-2</sup> ) Total volume	未分解层 蓄积量/ (t·hm <sup>-2</sup> ) Undecom posed layer volume	未分解层 占总蓄积量 比例/% Percentage	半分解层 蓄积量/ (t·hm <sup>-2</sup> ) Semi- decomposed layer volume	半分解层 占总蓄积量 比例/% Percentage
650	40	6.4	3.5	2.9	26.62	8.21	30.84	18.41	69.16
1 400	35	6.1	2.1	4.0	33.02	4.52	13.68	28.50	86.32
1 850	38	8.6	4.6	4.1	49.79	10.94	21.97	38.85	78.03

### 3.2 不同密度油松人工林枯落物层的自然含水量和饱和持水率

枯落物自然含水量反映了枯落物在自然状态下的持水能力<sup>[11-13]</sup>,饱和持水率反映了枯落物截留降雨的能力,它们是反映枯落物涵养水源和保持水土作用的 2 个重要因子。

林龄相近,林分密度为 650,1 400 和 1 850 株/hm<sup>2</sup>的油松人工林枯落物层自然含水量分别为 48.79%,51.86%和 49.14%,均保持在 50%左右的相对稳定水平,可见对于林龄相近但密度不同的油松人工林,枯落物层的自然含水量随着密度的变化未发生明显变化。林分密度为 650,1 400,1 850 株/hm<sup>2</sup>的油松人工林枯落物层的饱和持水率分别为 216.81%,197.70%和 217.76%。饱和持水率是枯落物层浸水 24 h 的持水率,然而山区降雨一般很难持续 24 h 以上,所以饱和持水率可以一定程度地反映枯落物层本身的持水能力,但是其拦蓄降雨的能力还要结合自然含水量、蓄积量等来综合表征。

### 3.3 不同密度油松人工林枯落物层的持水特性

3.3.1 持水量 林分密度为 650,1 400,1 850 株/hm<sup>2</sup>的油松人工林枯落物层持水量与浸水时间的关系如图 1 所示。由图 1 可知,在最初浸水的 2 h 内,枯落物层持水量迅速增加;浸水 2~10 h,随着浸水时间的延长,枯落物层持水量继续增加,但增加速

度逐渐减慢;10 h 以后,持水量变化趋势相对平缓。这说明,枯落物层拦蓄和截留降雨主要发生在降雨初期的 2 h 内,在这段时间里,枯落物迅速拦截降雨,避免降雨对土壤的直接侵蚀作用。但随着降雨的继续,枯落物自身含水量增加,持水能力逐渐减弱,至 24 h 时达到最大持水量。

不同密度下的油松人工林,林木数量和生长状况的不同会造成枯落物输入量的差异;同时,不同密度下林分内透光程度不同,枯落物层的分解速率因此存在差异。综合以上 2 个因素的影响,不同密度油松人工林枯落物层蓄积量和厚度表现出不同程度的差异性。

度逐渐减慢;10 h 以后,持水量变化趋势相对平缓。这说明,枯落物层拦蓄和截留降雨主要发生在降雨初期的 2 h 内,在这段时间里,枯落物迅速拦截降雨,避免降雨对土壤的直接侵蚀作用。但随着降雨的继续,枯落物自身含水量增加,持水能力逐渐减弱,至 24 h 时达到最大持水量。

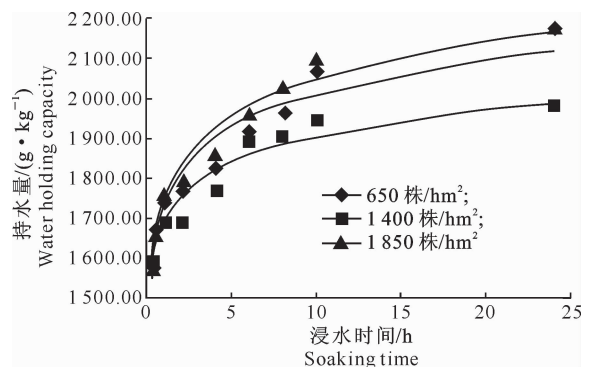


图 1 不同密度油松人工林枯落物层的持水量

Fig. 1 Water-holding capacity of litter layer under different densities of pine plantations

对 3 种密度油松人工林枯落物浸水 0.25~24 h 的持水量  $Q$ (g/kg)与浸泡时间  $t$ (h)的关系进行回归分析,结果见表 2。由表 2 可知,枯落物层持水量与浸水时间存在如下的函数关系:

$$Q = a \ln t + b.$$

式中: $a$  为方程系数, $b$  为方程常数项。

表 2 不同密度油松人工林枯落物层持水量(Q)与浸水时间(t)的拟合方程

Table 2 Fitting equation of water holding capacity and soaking time of litter layer under different densities of pine plantations

林分密度/(株·hm <sup>-2</sup> ) Stand density	拟合方程 Fitting equation	R <sup>2</sup>
650	Q=133.3 ln t+1 739	0.974
1 400	Q=122.6 ln t+1 728	0.940
1 850	Q=90.15 ln t+1 697	0.927

3.3.2 吸水速率 3种密度油松人工林枯落物在0.25,0.5,1,2,4,6,8,10和24h的吸水速率如表3所示。由表3可见,在浸水0.25h内,枯落物迅速吸水,吸水速率最大,之后随着浸水时间的延长,枯

表 3 不同密度油松人工林枯落物层的吸水速率

Table 3 Water absorption rate of litter layer under different densities of pine plantations g/(kg·h)

林分密度/(株·hm <sup>-2</sup> ) Stand density	浸水时间/h Soaking time								
	0.25	0.5	1	2	4	6	8	10	24
650	6 343.14	3 341.89	1 739.20	883.84	455.93	318.88	245.38	207.14	90.34
1 400	6 374.56	3 319.03	1 690.56	846.29	442.45	314.36	238.26	194.78	82.38
1 850	6 286.86	3 312.80	1 757.82	897.49	465.82	326.42	253.56	209.12	90.73

对不同密度油松人工林枯落物层吸水速率V(g/(kg·h))与浸水时间t(h)进行拟合,结果见表4。由表4可知,枯落物层吸水速率与浸水时间存在如下的函数关系:

$$V=kt^n.$$

式中:k为方程系数;n为指数。

表 4 不同密度油松人工林枯落物层吸水速率(V)与浸水时间(t)的拟合方程

Table 4 The fitting equation of water absorption rate and soaking time of litter layer under different densities of pine plantations

林分密度/(株·hm <sup>-2</sup> ) Stand density	拟合方程 Fitting equation	R <sup>2</sup>
650	V=1 724 t <sup>-0.93</sup>	0.999
1 400	V=1 695 t <sup>-0.94</sup>	0.999
1 850	V=1 733 t <sup>-0.92</sup>	0.999

### 3.4 不同密度油松人工林枯落物层的最大拦蓄量和有效拦蓄量

在自然条件下,山地森林的坡面一般不会出现较长时间的浸水条件,落到枯落物层的雨水,一部分被拦蓄,另一部分透过空隙入渗到土壤中,枯落物层最大持水量并不等于其实际拦蓄的降雨量,故而可采用有效拦蓄量来衡量枯落物层实际持水能力的大小<sup>[15-16]</sup>。从图2可以看出,枯落物层最大拦蓄量和有效拦蓄量均随着林分密度的增加而增大,其中密度1 850株/hm<sup>2</sup>的样地最大拦蓄量和有效拦蓄量分别可达96.67和77.94t/hm<sup>2</sup>,这与林分密度对枯

落物吸水速率大幅度下降,但在前2h内,枯落物吸水速率仍保持在相对较高水平;随后,枯落物吸水速率继续减小,至浸水24h时,枯落物已达到饱和持水状态,不再吸水。

枯落物吸水速率的快慢与其表面的水势差密切相关<sup>[14]</sup>,枯落物从烘干状态浸入水中之后,由于其表面水势差较大,会迅速从周围环境中吸水,吸水速率高;但随着浸水时间的延长,由于枯落物细胞已从周围环境中吸收了一部分水分,其表面与周围环境水势差逐渐减小,故吸水速率逐渐趋于缓慢;8~10h以后,枯落物内的水分含量趋向于饱和,吸水速率保持在较低水平。

落物层蓄积量的影响一致。

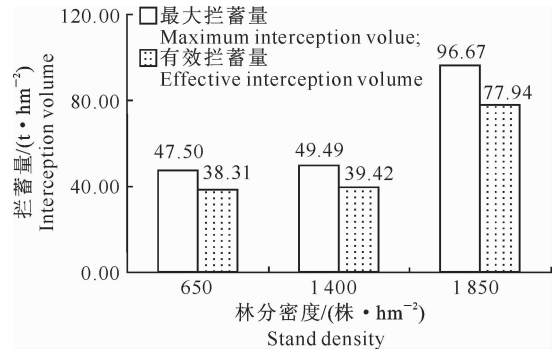


图 2 不同密度油松人工林枯落物层的最大拦蓄量和有效拦蓄量

Fig. 2 Maximum and effective interception volume of pine plantations litter layer under different densities

## 4 结 论

1)研究区域3种密度油松人工林枯落物层蓄积量为26.62~49.79t/hm<sup>2</sup>;枯落物层蓄积量随着林分密度的增大而增加。

2)林分密度为650,1 400和1 850株/hm<sup>2</sup>的油松人工林自然含水量在50%左右,饱和持水率分别为216.81%,197.70%和217.76%。

3)最初浸水2h内,枯落物迅速吸水,持水量快速增加;之后随着浸水时间的延长,持水量增加速度减小,至10h后逐渐趋于稳定,24h达到最大持水量;持水量Q(g/kg)与浸泡时间t(h)间的函数关系

式为:  $Q = a \ln t + b$ 。

4) 浸水 2 h 内, 枯落物吸水速率保持在较高水平, 2 h 后, 吸水速率逐渐减小; 吸水速率  $V$  ( $g/(kg \cdot h)$ ) 与浸水时间  $t$  (h) 间的函数关系式为:  $V = kt^n$ 。

5) 枯落物层对降雨的拦蓄能力随着林分密度的增加而增大。

## [参考文献]

- [1] 莫菲, 于澎涛, 王彦辉, 等. 六盘山华北落叶松林和红桦林枯落物持水特征及其截持降雨过程 [J]. 生态学报, 2009, 29(6): 2868-2876.  
Mo F, Yu P T, Wang Y H, et al. The water-holding capacity of litter layers in the forests of *Larix principis-rupprechtii* and *Betula albosinensis* in Liupan Mountain and their rainfall interception process [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 2868-2876. (in Chinese)
- [2] 田超, 杨新兵, 李军, 等. 冀北山地阴坡枯落物层和土壤层水文效应研究 [J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 97-103.  
Tian C, Yang X B, Li J, et al. Hydrological effects of forest litters and soil in the slope of North Mountain of Hebei province [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(2): 97-103. (in Chinese)
- [3] Maguire D A. Branch mortality and potential litter fall from Douglas-fir trees in stands of varying density [J]. Forest Ecology and Management, 1994, 70: 41-53.
- [4] 张振明, 余新晓, 牛健植, 等. 不同林分枯落物层的水文生态功能 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 139-143.  
Zhang Z M, Yu X X, Niu J Z, et al. Ecohydrological functions of litter on different forest stands [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(3): 139-143. (in Chinese)
- [5] 吴钦孝, 赵鸿雁, 刘向东, 等. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 23-28.  
Wu Q X, Zhao H Y, Liu X D, et al. Evaluation on role of forest litter to water source conservation and soil and water conservation [J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1998, 4(2): 23-28. (in Chinese)
- [6] Leer. Forest hydrology [M]. New York: Columbia University Press, 1980.
- [7] 马雪华, 杨茂瑞, 胡星弼. 亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究 [J]. 林业科学, 1993, 29(3): 199-206.  
Ma X H, Yang M R, Hu X B. A Study on hydrological function of subtropical plantation of *Cunninghamia lanceolata* and *Pinus massoniana* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1993, 29(3): 199-206. (in Chinese)
- [8] 徐娟. 北京山区典型森林枯落物层生态功能研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2010.  
Xu J. Ecological functions of forest floor in forest ecosystems in Beijing Mountain area [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010. (in Chinese)
- [9] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 亚高山针叶林人工恢复过程中凋落物动态分析 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1491-1496.  
Lin B, Liu Q, Wu Y, et al. Dynamics of litters in artificial restoration process of subalpine coniferous forest [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(9): 1491-1496. (in Chinese)
- [10] 李红云, 杨吉华, 鲍玉海, 等. 山东省石灰岩山区灌木林枯落物持水性能的研究山东省石灰岩山区灌木林枯落物持水性能研究 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 44-48.  
Li H Y, Yang J H, Bao Y H, et al. Study on litter water-holding characteristics of shrubbery in Limestone Mountain area in Shandong province [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(1): 44-48. (in Chinese)
- [11] 方海东, 纪中华, 杨艳鲜, 等. 金沙河干热河谷新银合欢人工林枯落物层持水特性研究 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 52-55.  
Fang H D, Ji Z H, Yang Y X, et al. Study on litter water retaining capacity of *Leucaena leucocephala* plantation in Jinsha river hot and dry valley [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(5): 52-55. (in Chinese)
- [12] 鲍文, 包维楷, 丁德蓉, 等. 岷江上游人工油松林凋落量及其持水特征 [J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2004, 26(5): 567-569.  
Bao W, Bao W K, Ding D R, et al. Study on litter-fall and water holding capacity of litter in an artificial *Pinus tabulaeformis* forest in the upper reaches of the Minjiang river [J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2004, 26(5): 567-569. (in Chinese)
- [13] 饶良懿, 朱金兆, 毕华兴. 重庆四面山森林枯落物和土壤水文效应 [J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 33-35.  
Rao L Y, Zhu J Z, Bi H X. Hydrological effects of forest litters and soil in the Simian mountain of Chongqing city [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2005, 27(1): 33-35. (in Chinese)
- [14] 赵陟峰, 郭建斌, 赵廷宁, 等. 土桥河流域不同林分枯落物的水文特性 [J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6): 14-17.  
Zhao Z F, Guo J B, Zhao T N, et al. Hydrologic characteristics of litter under different forest types in Tuqiaogou watershed [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(6): 14-17. (in Chinese)
- [15] 郭汉清, 韩有志, 白秀梅. 不同林分枯落物水文效应和地表糙率系数研究 [J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 179-183.  
Guo H Q, Han Y Z, Bai X M. Hydrological effects of litter on different forest stands and study about surface roughness coefficient [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(2): 179-183. (in Chinese)
- [16] 段文标, 刘少冲, 陈立新. 莲花湖库区水源涵养林水文效应的研究 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 26-30.  
Duan W B, Liu S C, Chen L X. Study on hydrological effect of water conservation forest in Lianhua lake reservoir area [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(5): 26-30. (in Chinese)