

## 4 种地被竹枯落物的水文特征及其截持降雨过程研究

刘国华<sup>1</sup>, 张金池<sup>2</sup>, 林树燕<sup>1</sup>, 王福升<sup>1</sup>, 丁雨龙<sup>1</sup>

(1. 南京林业大学 竹类研究所, 江苏 南京 210037; 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

**摘要:** 运用浸水法和人工模拟降雨法, 分析了 4 种地被竹(铺地竹、菲白竹、鹅毛竹、黄条金刚竹) 枯落物的持水能力与截持降雨过程。结果表明, 铺地竹、菲白竹、鹅毛竹、黄条金刚竹现存蓄积量分别为 4.51, 4.33, 6.32 和 6.67 t/hm<sup>2</sup>。枯落物的持水量介于 12.77 ~ 16.66 t/hm<sup>2</sup> 之间。4 种地被竹枯落物的截留量与枯落物厚度、含水量密切相关。4 种地被竹枯落物厚度分别为 1 和 3 cm 厚度时截留量差异均达到显著水平。在枯落物含水量达到饱和(50.81% ~ 66.27%) 的情况下, 随着厚度的增加枯落物的截流量增大。铺地竹枯落物厚度 3 cm 比 1 cm 截流量提高了 126%。鹅毛竹、菲白竹、黄条金刚竹截流量依次提高了 51.4%, 114.3% 和 56%。

**关键词:** 地被竹; 枯落物; 水文特征; 截持降雨

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0105-04

中图分类号: S715.3

### Hydrological Characteristics of Litters of Four Dwarf Bamboos and Their Rainfall Interception Rates

LIU Guo-hua<sup>1</sup>, ZHANG Jin-chi<sup>2</sup>, LIN Shu-yan<sup>1</sup>, WANG Fu-sheng<sup>1</sup>, DING Yu-long<sup>1</sup>

(1. Bamboo Research Institute, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China;

2. College of Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

**Abstract:** In order to evaluate the hydrological functions of dwarf bamboos, the water holding capacity and the rainfall interception rates of four dwarf bamboos, such as *Arundinaria argenteostriata*, *Arundinaria fortunei*, *Shibataea chinensis* and *Sasaella masamuneana* were investigated. The results show that the litter volumes of *Arundinaria argenteostriata*, *Arundinaria fortunei*, *Shibataea chinensis* and *Sasaella masamuneana* were 4.51, 4.33, 6.32, and 6.67 t/hm<sup>2</sup>, respectively. The maximum water-holding volumes of these four dwarf bamboo litters ranged from 12.77 to 16.66 t/hm<sup>2</sup>. The rainfall interception rates of the litters were closely related to the thickness and their water contents, and the interception rate of the litter with 1 cm thickness was significantly different from that of the litter with 3 cm thickness. With the increment of litter thickness, the interception rates increased when the litter water contents were 50.81% ~ 66.27%. The 3 cm litter intercepted more rainfall than the 1 cm litter, by 126%, 51.4%, 114.3%, and 56% more for *Arundinaria argenteostriata*, *Shibataea chinensis*, *Arundinaria fortunei* and *Sasaella masamuneana*, respectively.

**Keywords:** dwarf bamboo; litter; hydrological characteristics; rainfall interception

枯落物层作为植物群落结构的一个重要层次,起着不可替代的生态学作用,它对生态系统的环境、土壤和植被均产生一定影响<sup>[1-2]</sup>,作为第二个水文作用层对森林生态系统的水文过程和水源涵养功能具有重要影响<sup>[3-5]</sup>。然而,由于受降雨量、降雨强度、降雨历时、林分特性、地形等因素的影响,地被物持水特性的定量研究工作在野外难以进行<sup>[6]</sup>。目前国内外研究多是基于浸泡法测定枯落物的最大持水量、最大持水率和持水过程<sup>[7-9]</sup>。研究发现,降雨开始时,枯落物

层吸水量迅速增加,当水分到达细胞内部,吸水量增加缓慢<sup>[9-10]</sup>。当吸水达到其截留极值点后,枯落物层完全变成一层水流通通道<sup>[11-12]</sup>。室内模拟与自然降雨存在差距<sup>[13]</sup>。不同学者对枯落物阻滞径流或增加径流的研究结果也不一致<sup>[12,14]</sup>。

本研究以 4 种地被竹为研究对象,通过浸泡和人工降雨实验进行枯落物截持分析,研究降雨强度等对枯落物持水动态和实际持水量的影响,以期为进一步了解 4 种地被竹枯落物实际截持量的变化规律和深

收稿日期: 2011-09-30

修回日期: 2011-10-31

资助项目: 国家林业公益性行业科研专项“上阔下竹复合生态系统构建及优化技术研究”(201204106); 国家“十二五”科技支撑项目“竹藤资源培育与高附加值加工利用技术研究”(2012BAD23B05)

作者简介: 刘国华(1979—) 男(汉族), 山东省青州市人, 博士, 助理研究员, 主要从事竹林生态学研究。E-mail: lgh3008@163.com。

通信作者: 王福升(1963—) 男(汉族), 山东省潍坊市人, 学士, 副教授, 主要从事竹林生态、竹林培育研究。E-mail: fswang@njfu.com.cn。

入分析其生态水文过程提供理论基础和数据支持。

## 1 研究区概况

试验地设于南京林业大学竹种园内,地理位置位于北纬  $32^{\circ}02'$ ,东经  $118^{\circ}48'$ ,属北亚热带气候区。该区年平均气温  $15.7^{\circ}\text{C}$ ,全年积温 ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) 为 4 897  $^{\circ}\text{C}$ 。全年降水量平均为 971.7 mm,春、夏两季占 70% 以上,秋冬仅占 30%,全年无霜期 233 d。土壤类型属蜀系黄壤。试验区为南京林业大学竹种园,试验材料为 2000 年栽植始终处于自然生长状态的铺地竹 (*Pleioblastus distichus*)、鹅毛竹 (*Shibataea chinensis*)、菲白竹 (*Pleioblastus fortunei*)、黄条金刚竹 (*Arundinaria kongosanensis*)。

## 2 研究方法

### 2.1 枯落物现存量的测量与收集

林内设置标准地,沿对角线方向均匀设 5 个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  的样方,收集其上原状枯落物,测定含水量,求其现存蓄积量。另外,林内均匀设置 10 个  $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$  的收集筐,逐月收集和测定枯枝落叶量,分析其动态变化,枯落物收集时间 2006 年 3 月 13 日至 2008 年 2 月 15 日。

### 2.2 枯落物浸泡持水过程的测定

将原状枯落物用水洗净表面泥沙并在  $85^{\circ}\text{C}$  下烘干至恒重,装入土壤筛中(网孔直径 1 mm),装入量为  $1.0\text{ kg}/\text{m}^2$ ,之后将土壤筛置入盛有清水的容器内,水面高于土壤筛上沿,每隔 1 h 将枯落物连同土壤筛一并取出,静置约 5 min,待土壤筛不再滴水时迅速称重。每个样品重复 3 次,进行枯落物浸泡实验。

### 2.3 人工降雨条件下枯落物持水过程的测定

取原状枯落物,置于自记雨量计的顶端,下垫沙网,枯落物厚度设 3 个处理,分别为 1、2、3 cm。每次降水后,纱网下无滴水时测定透过的降水量,比较对照雨量计测得的降水量与透水量,计算得到枯落物的截流量,每降雨强度重复 3 次。降雨持水过程观测时间 2007 年 3 月至 2009 年 2 月。

## 3 结果与讨论

### 3.1 枯枝落叶层的年凋落量动态变化

3.1.1 凋落物凋落量的月动态变化 由图 1 可以看出,铺地竹在 5—10 月份,枯落物的凋落量始终保持较低水平,平均每月凋落量占全年凋落量的 2.28%,11 月份枯落物凋落量明显上升。鹅毛竹 7—8 两个月份枯落物凋落量占全年 41.79%,黄条金刚竹占 25.31%,菲白竹占 18.34%。自 11 月份开始,随着

气温的下降,各竹种生命活动变弱,铺地竹、菲白竹、黄条金刚竹的凋落量开始逐渐上升。鹅毛竹枯落物凋落量在 1 月份开始上升。

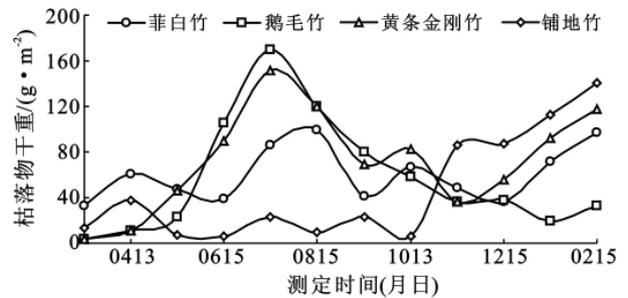


图 1 各地被竹枯落物的年凋落量动态变化

3.1.2 枯落物累积掉落动态变化 枯枝落叶层的蓄积量随着植物器官的凋落,始终处于一个动态过程之中,4 种地被竹凋落物量逐月变化可用三次方程进行拟合。

由于各竹种春季抽枝展叶时间不同,因此各竹种叶片生命活动结束时间和枯落物开始计算的时间也不同,从枯落物凋落量开始出现上升的前一个月份开始。本次拟合中,铺地竹从 10 月开始,黄条金刚竹从 11 月开始,菲白竹从 12 月开始,鹅毛竹从 1 月份开始。

### 3.2 枯枝落叶层的持水性能

3.2.1 枯枝落叶层的吸水过程 各竹种凋落物在前 1 h 的吸水速率最快,铺地竹和菲白竹的吸水率达到了 214.5% 和 232.1%,鹅毛竹与黄条金刚竹的吸水率为 154.6% 和 178%,铺地竹的吸水量最大,可吸收相当于自身重量的 4.15 倍的水,其余 3 个竹种吸水量相当于自身重量的 3.03~3.94 倍。造成各竹种吸水量和吸水率不同的原因,主要与叶的结构、性质及其分解的程度有关。4 个竹种(100 g) 枯落物的吸水性能与时间的关系可用三次函数进行拟合(图 2)。

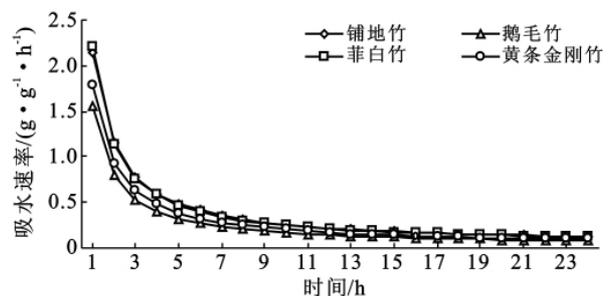


图 2 各竹种吸水速率随时间的变化

随着时间的延长,各竹种凋落物的吸水速率迅速下降,各竹种单位重量凋落物,单位时间内的吸水速率可用线性方程进行描述。

3.2.2 枯落物的最大持水量与持水率 由表 1 可知 4 种地被竹枯落物的持水率相差不大, 在 203% ~ 315% 之间, 枯落物持水量以黄条金刚竹最大,

为 16.66 t/hm<sup>2</sup>, 其余依次为铺地竹、鹅毛竹和菲白竹。

表 1 各竹种枯落物的最大持水量

竹种	郁闭度	蓄积量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	最大持水量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	最大持水率/ %	当量水层深度/ mm
鹅毛竹	0.90	6.32	12.86	203	1.3
菲白竹	0.72	4.33	12.77	295	1.3
黄条金刚竹	0.93	6.67	16.66	250	1.7
铺地竹	0.67	4.51	14.22	315	1.4

3.3 枯落物层的截持降雨过程

图 3 为 4 种地被竹枯落物厚度在 1 cm 时的截流过程。

从图 3 可以看出, 到观察结束时, 各竹种的截流量由大到小的顺序为: 铺地竹 (7.2 mm) > 菲白竹 (6.8 mm) > 鹅毛竹 (4 mm) > 黄条金刚竹 (3.4 mm)。枯枝落叶层的截留, 进一步减少了林地的净雨量

量, 上述 4 种地被竹的枯落物厚度在 1 cm 时, 截流量占林内降雨量的 13.9% ~ 30.8% 其中铺地竹的枯落物对降雨的截留效果最好, 达到 30.8%, 由此可见, 只有 60% ~ 70% 的林内降雨最终进入了林地土壤, 从而有效地降低了地表径流侵蚀土壤的能力。枯枝落叶层的截流量与林内降雨量之间存在一定的相关性, 两者之间可用幂函数关系进行描述。

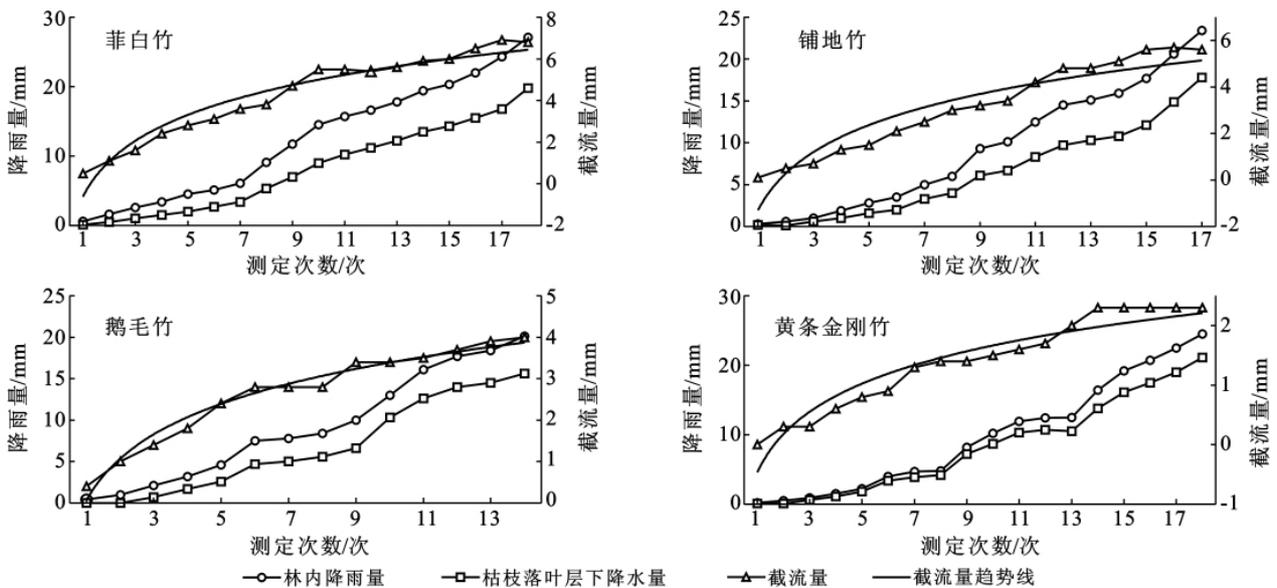


图 3 各地被竹下 1 cm 厚度枯落物的截留过程

枯落物的截流量与枯落物本身的分解程度、气象条件、枯落物的厚度, 自身的含水量有关。其中, 枯落物的截流量与分解程度、厚度成正相关, 与自身的含水量成负相关。枯落物分解的程度高, 厚度越大, 其截留量越大。枯落物自身的含水量越大, 其截流量越小。不同含水量下, 3 cm 厚度枯落物的截流量比 1 cm 的截流量提高 23% ~ 126%, 其中在枯落物含水量达到饱和 (50.81% ~ 66.27%) 的情况下, 随着厚度的增加, 枯落物的截流量增大。铺地竹 3 cm 比 1 cm 截流量提高了 126%, 鹅毛竹、菲白竹、黄条金刚竹依次提高

51.4%, 114.3% 和 56.0% (表 2)。

对不同枯落物厚度、不同含水量、降雨量的统计数据进行了方差分析 (表 3)。结果表明, 各实验竹种的枯落物厚度, 黄条金刚竹 1 cm 与 3 cm 厚度差异达到极显著水平, 菲白竹、鹅毛竹、铺地竹 1 cm 与 3 cm 厚度差异显著。不同含水量下, 枯落物的截留量方差分析结果表明, 菲白竹、黄条金刚竹含水量 0 与含水量 50.81% ~ 66.27% 间的差异达到了极显著水平, 菲白竹、黄条金刚竹、铺地竹含水量为 18% ~ 32% 与含水量 50.81% ~ 66.27% 间的差异达到显著水平, 鹅毛竹不同含水量

间 枯落物截流量无显著差异,说明鹅毛竹枯落物含水量大小对截流量无显著影响,这可能与鹅毛竹叶片的结构、鹅毛竹的分解程度较高有关。本次研究 4 种地被竹枯落物最大持水量 铺地竹为 12.86 t/hm<sup>2</sup>,菲白竹为 12.77 t/hm<sup>2</sup>,鹅毛竹为 14.22 t/hm<sup>2</sup>,黄条金刚竹为

16.66 t/hm<sup>2</sup>,均远大于垦复状态下毛竹林的枯落物持水量(3.65 t/hm<sup>2</sup>)<sup>[15]</sup>,大于一些草本植物羊草 9.60 t/hm<sup>2</sup>,虎尾草 7.40 t/hm<sup>2</sup>,碱茅 5.00 t/hm<sup>2</sup><sup>[16]</sup>,甚至超过一些生长几十年乔木林,如 20 a 生刺槐林最大持水量仅为 7.00 t/hm<sup>2</sup>,华北落叶松林为 12.84 t/hm<sup>2</sup><sup>[17-18]</sup>。

表 2 不同厚度、含水量地被竹枯落物的截留量

竹种	降雨量/ mm	0%含水量			18%~32%含水量			50.81%~66.27%含水量		
		1 cm 厚度	2 cm 厚度	3 cm 厚度	1 cm 厚度	2 cm 厚度	3 cm 厚度	1 cm 厚度	2 cm 厚度	3 cm 厚度
鹅毛竹	20.1	4.7	6.0	7.1	4.0	5.5	6.1	3.5	4.1	5.3
菲白竹	27.1	7.8	8.7	9.6	6.8	8.0	8.5	2.1	4.0	4.5
黄条金刚竹	24.5	7.6	8.3	9.9	3.4	5.0	6.9	2.5	2.9	3.9
铺地竹	23.4	9.4	11.9	12.9	7.2	7.9	9.7	1.9	3.3	4.3

表 3 截流量与枯落物厚度、含水量方差分析

竹种名称	厚度/cm	1	2	3	含水量/%	0	18~32	50.81~66.27
菲白竹	1	1	0.169	0.011*	0%	1	0.779	0.105
	2	0.169	1	0.232	18~32	0.779	1	0.058
	3	0.011	0.232	1	50.81~66.27	0.105	0.058	1
鹅毛竹	1	1	0.543	0.048*	0	1	0.350	0.001**
	2	0.543	1	0.167	18~32	0.350	1	0.000**
	3	0.048*	0.167	1	3	0.001**	0.000**	1
黄条金刚竹	1	1	0.297	0.009**	0	1	0.021*	0.001**
	2	0.297	1	0.112	18~32	0.021*	1	0.356
	3	0.009**	0.112	1	50.81~66.27	0.001**	0.356	1
铺地竹	1	1	0.218	0.038*	0	1	0.556	0.002*
	2	0.218	1	0.394	18~32	0.556	1	0.012*
	3	0.038*	0.394	1	50.81~66.27	0.002*	0.012*	1

注: \* 表示 0.05 水平差异显著; \*\* 表示 0.01 水平差异极显著。

## 4 结论

(1) 4 种地被竹枯落物层贮量,铺地竹为 6.67 t/hm<sup>2</sup>,菲白竹为 4.33 t/hm<sup>2</sup>,黄条金刚竹为 6.67 t/hm<sup>2</sup>,鹅毛竹为 6.32 t/hm<sup>2</sup>。铺地竹、菲白竹、黄条金刚竹的凋落量自 11 月份开始逐渐上升,鹅毛竹枯落物凋落量在 1 月份开始上升。

(2) 铺地竹和菲白竹的吸水率达到了 214.5% 和 232.1%,鹅毛竹与黄条金刚竹的吸水率为 154.6% 和 178%。4 种地被竹枯落物的吸水量相当于自身重量的 3.03~4.15 倍,其中铺地竹的吸水量最大,可达自身重量的 4 倍。

(3) 4 种地被竹枯落物最大持水率为 203%~315%,不同含水量下 3 cm 厚度枯落物的截流量比 1 cm 的截流量提高了 23%~126%。由此可见各地被竹枯落物具有较强的持水能力及截留作用。

- [1] Borendse F. Implications of increased litter production for plant biodiversity [J]. Trends Ecology and Evolution, 1999, 14(1): 4-5.
- [2] Scott D F. Soil wettability in forested catchments in South Africa: As measured by different methods and as affected by vegetation cover and soil characteristics [J]. Journal of Hydrology, 2000, 231(1): 87-104.
- [3] 薛建辉,郝奇林,何常清,等. 岷江上游两种亚高山林分枯落物层水文特征研究 [J]. 水土保持学报, 2009, 23(3): 168-172.
- [4] 杨吉华,张永涛,李红云,等. 不同林分枯落物的持水性能及对表层土壤理化性状的影响 [J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 141-144.
- [5] 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, 2004, 26(5): 567-569.
- [6] 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.

(下转第 113 页)

[参 考 文 献]

采取的农艺措施。

[ 参 考 文 献 ]

- [1] 杨家新,喻志芳. 苦豆子的研究进展[J]. 天津药学, 1998, 10(1): 43-45.
- [2] 陈耀祖. 苦马豆化学成分的研究[J]. 西北药学杂志, 1987 2(3): 15-16.
- [3] 李爱华,孙兆军. 苦豆子资源开发现状及前景初探[J]. 宁夏大学学报, 2001 25(4): 354-356.
- [4] 邹恒琴,徐峰,张忠义,等. 一种具有前景的抗癌药苦马豆素的研究进展[J]. 中草药, 1997 28(7): 437.
- [5] 胡小文,武艳培,王彦荣. 苦豆子种子休眠的形成及其解剖结构变化[J]. 西北植物学报, 2009 29(1): 16-21.
- [6] 王进,王泽基,陈叶,等. 苦豆子种子萌发特性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007 25(5): 202-206.
- [7] 王建宇. 宁夏中部干旱带药用植物区系特点及开发利用[J]. 干旱地区农业研究, 2005 23(1): 204-207.
- [8] 杨辉,华鹏,黄培祐. 苦豆子种子特性与种群扩展关系的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2006(1): 198-201.
- [9] 王进,韩多宏,陈叶,等. 环境因子对苦豆子种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报, 2007 15(3): 259-262.
- [10] 尹燕桦,董学会. 种子学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 87-96.
- [11] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000 [J]. Plant Physiology, 1973, 51(5): 914-916.
- [12] 韩建国. 实用牧草种子学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1997: 87-92.
- [13] 颜启传. 种子检验原理与技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001: 50-80.
- [14] 国际种子检验协会. 种苗评定与种子活力测定方法手册[S]. 徐本美,韩建国,译. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 53-56.
- [15] 杨鹏辉,李贵全,郭丽,等. 干旱胁迫对不同抗旱大豆品种华架期质膜透性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003 31(3): 23-26.
- [16] 曾彦军,王彦荣,薛仁,等. 几种旱生灌木种子萌发对干旱胁迫的响应[J]. 应用生态学报, 2002 13(8): 953-956.
- [17] Zeng Yanjun, Wang Yanrong, Zhang Jianming. Is reduced seed germination due to water limitation a special survival strategy used by xerophytes in arid dunes? [J]. Journal of Arid Environments, 2010 74(4): 508-511.
- [18] 曾彦军,王彦荣,保平,等. 几种生态因子对红砂和霸王种子萌发与幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2005 14(5): 24-31.
- [19] 曾彦军,王彦荣,庄光辉,等. 红砂和霸王种子萌发对干旱与播深条件的响应[J]. 生态学报, 2008 24(8): 1629-1634.
- [20] 刘长利,王文全,魏胜利. 干旱胁迫对甘草种子吸胀萌发的影响[J]. 中草药, 2004 12(35): 1403-1405.
- (上接第108页)
- [7] Zhang Yucundong, Liu Shirong, Ma Jiangming. Water-holding capacity of ground covers and soils in alpine and sub-alpine shrubs in western Sichuan, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006 26(9): 2775-2782.
- [8] 莫菲,于澎涛,季冬,等. 贡嘎山暗针叶林枯落物截留特征研究[J]. 中国水土保持科学, 2007 5(2): 86-90.
- [9] Yoshinobu S, Tomomi 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(6): 3007-3018.
- [10] 赵鸿雁,吴钦孝,从怀军. 黄土高原人工油松林枯枝落叶截留动态研究[J]. 自然资源学报, 2001 16(4): 381-385.
- [11] 陈丽华,余新晓,张东升,等. 贡嘎山冷杉林区苔藓层截持降水过程研究[J]. 北京林业大学学报, 2002 24(4): 60-63.
- [12] 赵鸿雁,吴钦孝,刘国彬. 黄土高原人工油松林枯枝落叶层的水土保持功能研究[J]. 林业科学, 2003 39(1): 168-172.
- [13] 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.
- [14] 赵玉涛,余新晓,张志强,等. 长江上游亚高山峨眉冷杉林枯落物层界面水分传输规律研究[J]. 水土保持学报, 2002 16(3): 118-121.
- [15] 高志勤,傅懋毅. 毛竹林等不同森林类型枯落物水文特性的研究[J]. 林业科学研究, 2005 18(3): 274-279.
- [16] 施爽,郭继勋. 松嫩草原三种主要植物群落枯落物层生态水文功能[J]. 应用生态学报, 2007 18(8): 1722-1726.
- [17] 吴钦孝. 森林保持水土机理及功能调控技术[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 54-66.
- [18] 胡淑萍,余新晓,岳永杰. 北京百花山森林枯落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报, 2008 22(1): 146-150.