

# 甘南白龙江上游小流域主要林分地被物层的持水特性分异

王 飞, 陈国鹏, 齐 瑞, 杨永红, 张小磊

(甘肃省白龙江林业管理局林业科学研究所, 兰州 730070)

**摘 要:**在甘南白龙江上游林区内,采用实地踏测和浸水法,对林区内主要的 4 种不同林分类型(冷杉原始林、云杉、落叶松和华山松人工林)林下地被物持水性能进行了研究分析。结果表明:(1) 4 种不同类型树种林下地被物的总蓄积量为 11.75~28.96 t/hm<sup>2</sup>,其冷杉林(28.96 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松林(16.17 t/hm<sup>2</sup>)>华山松林(14.36 t/hm<sup>2</sup>)>云杉林(11.75 t/hm<sup>2</sup>);(2) 不同林分类型地被物的持水量、吸水速率与浸泡时间之间的动态变化基本相似,持水量与浸水时间存在对数关系,其吸水速率与浸水时间呈幂函数关系。(3) 不同树种林下地被物的总有效拦蓄量为 21.00~41.99 t/hm<sup>2</sup>,其中冷杉林最大,其次是落叶松林,最后是华山松林和云杉林;最大拦蓄量、最大持水量、有效拦蓄量和总有效拦蓄深的变化与总有效持水量变化一致。

**关键词:**甘肃白龙江;不同森林类型;地被物;持水特性

**中图分类号:**S714.7

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2016)06-0242-06

## Water-holding Performance of Major Forest Litter Layer in Bailong River Upstream Watershed of Gannan

WANG Fei, CHEN Guopeng, QI Rui, YANG Yonghong, ZHANG Xiaolei

(College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** By the methods of field survey and soaking extraction, an investigation on the water-holding capacity of the litters under four main forests (fir forest, spruce forest, larch forest, *Pinus armandi* forest) was conducted in Bailong River of Gansu. The accumulation amount of the litters under forests ranged from 11.75 t/hm<sup>2</sup> to 28.96 t/hm<sup>2</sup>, and followed the order: fir forest (28.96 t/hm<sup>2</sup>) > larch forest (16.17 t/hm<sup>2</sup>) > *Pinus armandi* forest (14.36 t/hm<sup>2</sup>) > spruce forest (11.75 t/hm<sup>2</sup>); the litter, water-holding capacity changed logarithmically with their soaking time, the water-absorption rate of the litter presented a power function with immersing time. The effective retaining amount of the litter decreased in order: fir forest > larch forest > *Pinus armandi* > spruce forest.

**Keywords:** Bailong river in gansu province; different forest types; litter; water-holding feature

森林地被物是森林生态系统的重要组成部分。作为森林生态系统中的第 2 个功能层,由于其结构疏松,透水性与吸水能力强,能吸滞通过植被而降落在地面之水,在降雨对地面的直接冲击起到缓冲作用,此外它的存在增加了地表层粗糙度,减缓了水流速度,增加了降水通过地被物缓慢渗透到土壤中的量,变地表径流为地下径流,从而大大减少了土壤表层的流失量<sup>[1]</sup>,防止土壤冲刷和水源涵养具有重要作用。同时,凋落物层位于土壤和空气之间,减少了土壤直接光照,减缓土壤温度变化和土壤水分的蒸发,并通过分解后释放的养分而影响土壤养分动态,这些环境

的变化将影响植物的繁殖和更新<sup>[2]</sup>,通过对森林地被物厚度、蓄积量和持水性能的研究,将有助于对森林水土保持和涵养水源机理的深入认识,也有利于水源涵养林和水土保持林的可持续经营管理<sup>[3]</sup>。地被物可以分为苔藓、枯落物和粗木质残体(CWD),粗质木残体是指是以枯立木、倒木和枯落大枝等形式存在的木质物质,通常以直径大于 2.5 cm 为标准来界定<sup>[4]</sup>。

在森林地被物水文生态功能中,地被物对降水的截留作用是最为主要的功能之一。地被物层对降水的截留作用,主要体现在地被物最大持水量的差异,而地被物最大持水量主要取决于地被物层蓄积量和

收稿日期:2016-01-21

修回日期:2016-02-18

资助项目:亚高山灌丛碳汇潜力评估及影响因素解析(145RJYK278);甘肃省自然科学基金青年科技基金计划“典型灌丛水文生态功能”

第一作者:王飞(1986—),男,甘肃省定西市安定区人,本科,工程师,主要从事林业科学研究。E-mail:173763825@qq.com

通信作者:杨永红(1968—),男,甘肃省兰州市七里河区人,本科,高级工程师,主要从事林业土壤研究。E-mail:1336190642@qq.com

持水能力两个方面<sup>[5-6]</sup>。地被物持水能力多用干物质的最大持水率和最大持水量来表示,其值的大小与林分类型、林龄、凋落物组成、分解状况、蓄积量等有关,不同地区、不同森林类型的持水能力差异很大<sup>[3]</sup>。

随着由于近年白龙江森林的破坏而引起下游的沙、污、旱、盐、碱、涝等生态问题的日益严重;再加上过度放牧、不合理采砂、人为破坏等因素,使下游的小生境更加脆弱<sup>[7]</sup>。甘肃白龙江上游地区林下地被物层较厚,森林水土保持和水源涵养功能强,地被物层在其中发挥着重要的作用。有关白龙江上游不同林分地被物持水特性的报道较少。为此,本文以甘肃白龙江上游的原始冷杉林为对照,对云杉林、落叶松林和华山松林 3 种人工林为对象,研究 4 种不同林分下地被物累蓄积量及持水特性,旨在为白龙江上游水源涵养和水土保持的可持续经营管理,以及甘肃南部山区森林植被的恢复与重建提供一定的理论依据。

1 研究区概况

试验区设在甘肃省甘南州舟曲县,地处白龙江上游,属岷山北侧山系,森林自然分布具明显垂直带谱,

从下到上依次为针阔混交林,箭竹针叶林,杜鹃冷杉林,高山灌丛及高山草甸,约北纬 33°22′,东经 103°79′,海拔高度为 3 450 m,土壤属暗棕色森林土。成土母质为坡积母质,土层厚度在 1 m 以下,表层石砾含量少。全年平均气温 1.3°,年降水量 1 048 mm,全年降水量集中在 5—10 月份。年平均空气相对湿度 80%,无霜期 80~103 d<sup>[8]</sup>。

2 研究方法

在对白龙江上游森林仔细踏查的基础上,根据该地区的地形、森林植被、土壤、植被分布等特性,选取 4 种有代表性的森林类型作为试验样地。在每种类型内分别设置 20 m×20 m 标准样地各 3 个,对样地内不同林分树种进行详细的环境因子调查(表 1),之后在各林分标准样地内依对角线分别在四角及中心区域设置 50 cm×50 cm 的地被物收集小样方,并测量小样方内的地被物半分解层和未分解层的厚度,然后收集小样方内地被物装袋立刻称其鲜重然后带回实验室。采用 GPS 定位标准地样方坐标、坡度、海拔等;用冠层分析仪测林冠郁闭度;运用生长锥测其树龄。

表 1 主要森林类型样地概况

| 林分类型 | 坡度/(°) | 林龄/a | 林冠郁闭度/% | 平均树高/m | 平均胸径/cm | 海拔/m | 林分密度/(株·hm <sup>-2</sup> ) | 起源   | 林下主要植物   |
|------|--------|------|---------|--------|---------|------|----------------------------|------|----------|
| 冷杉林  | 20     | 40   | 90      | 19     | 27.25   | 3400 | 2200                       | 自然生长 | 杜鹃、柏木等   |
| 云杉林  | 22     | 35   | 75      | 16.5   | 20.29   | 2429 | 2300                       | 人工   | 高山柳、榧子栎等 |
| 华山松林 | 24     | 35   | 70      | 15.39  | 15.75   | 2429 | 2100                       | 人工   | 榧子栎、蔷薇等  |
| 落叶松林 | 5      | 36   | 80      | 16     | 19.39   | 2375 | 2500                       | 人工   | 高山柳      |

将收集并称量的地被物带回实验室后,在 80℃ 的下烘至恒重,然后称其干重。采用室内浸泡法测定地被物的持水量和吸水动态。将烘干的地被物装入尼龙袋中称量干重后放入盛水的仪器中,水淹没尼龙袋。然后分别在 0.5,1,1.5,2,4,6,8,12,24 h 时取出让其自然流淌至不在滴水时测其质量,根据烘干质量换算研究不同浸泡时间段持水量和和吸水速率,重复三次。通过测定饱和吸水后的质量,结合之前测定的自然含水量和烘干质量等指标,可推算出地被物的自然含水率、最大持水量、最大持水率、最大拦截率、最大拦截量、有效拦截量等指标。一般认为地被物浸水 24 h 时持水量和持水率为最大持水量和最大持水率<sup>[9]</sup>,主要计算公式<sup>[2,10]</sup>分别为:

$$W_0=M_0-M_d$$
$$R_0=(M_0-M_d)/M_d\times100\%$$
$$W_{hmax}=M_{24}-M_d$$
$$R_{hmax}=(M_{24}-M_d)/M_d\times100\%$$
$$R_{smax}=R_{hmax}-R_0$$

$$W_{sv}=(0.85\times R_{hmax}-R_0)\times M_d$$

式中: $W_0$  为地被物自然含水量; $W_{hmax}$  为地被物最大持水量; $W_{sv}$  为地被物有效拦蓄量(t/hm<sup>2</sup>); $M_0$  为地被物自然状态下的储量(鲜储量); $M_d$  为地被物单位面积储量(干储量); $M_{24}$  为地被物吸水饱和单位质量(t/hm<sup>2</sup>); $R_0$ , $R_{hmax}$ , $R_{smax}$  分别为地被物自然含水率、最大持水率和最大拦蓄率(%);0.85 为有效拦蓄系数<sup>[11]</sup>,最大拦蓄率=最大持水率表示平均自然含水率;最大拦蓄量=最大拦蓄率×蓄积量,有效拦蓄率=0.85×最大持水率表示平均自然含水率,使用 Excel 软件整理数据、作图并进行回归方程拟合。

3 结果与分析

3.1 不同林分类型地被物蓄积量及厚度比较

地被物的蓄积量反映了地被物产量和分解量的动态平衡,当地被物分解速率大于其积累速率时,地被物累积量将不断减少,反之不断增加<sup>[12-13]</sup>。不同森林类型地被物蓄积量和厚度差异较大。

由表 2 可以看出 4 种不同林分类型总蓄积量相差比较大,变动范围在 11.75~28.96 t/hm<sup>2</sup>,原始冷杉林的总蓄积量为 28.96 t/hm<sup>2</sup>,云杉林(11.75 t/hm<sup>2</sup>),落叶松林(16.17 t/hm<sup>2</sup>),华山松林(14.36 t/hm<sup>2</sup>)。冷杉林的总蓄积量是其他林分类型的 1.79~2.46 倍,原始冷杉林蓄积量最大,云杉林最小,其他两种人工林和云杉林总蓄积量相差不大,分析其原因主要是林内树种组成和林内环境等因素的影响<sup>[12]</sup>。不同林分类型地被物鲜储量也不同,枯落物冷杉林最大,冷杉林的蓄积量最大相应的地被物的总厚度也最大,和云杉林、落叶松林地被物总厚度相差不大(41.70 t/hm<sup>2</sup>),华山松林的最小(13.75 t/hm<sup>2</sup>),为冷杉林的三分之一左右,云杉林、落叶松林与华山松林相差不大。4 种不同林分的木残体和苔藓鲜储量也是冷杉林最大,其他 3 种人工林相差不大,是冷杉林的三分之一左右;但是枯落物的厚度冷杉林与落叶松林相差不大,是其他两种林分的 1.54 倍左右,苔藓层的厚度在 1.07~1.33 cm,最大的冷杉林与最小的落叶松林之间的差别不大。不同林分类型木残体的蓄积量最大。冷杉林木残体蓄积量是其他两种蓄积量和的 1.38 倍,落叶松是 1.19 倍,云杉林是 1.26 倍,华山松林是 1.29 倍。这与它的自身物理性质有关,还与生长的环境条件有关,原始冷杉林在海拔 3 400 左右,树木林龄较

大,自然更新率较大,所以其木残体较多;再加上木残体自身的因素,分解速率低,在经过长年的积累,它的蓄积量较枯落物和苔藓多。

3.2 不同林分类型地被物持水动态分析

从表 3 中可以看出:不论任何时间段冷杉林的持水量总是大于其他林分类型,总持水量冷杉林也是最大,这与它的总蓄积量最大有关,也与不同林分的生境和林分类型有关。冷杉林的最大持水量为 72.43 t/hm<sup>2</sup>,云杉林最小为 31.33 t/hm<sup>2</sup>,华山松林是 34.37 t/hm<sup>2</sup>,落叶松林是 53.33 t/hm<sup>2</sup>,冷杉林最大持水量是云杉林的 2.31 倍,也是落叶松林的 1.36 倍,华山松林与云杉林最大持水量相差不多。在浸泡 4 h 以后持水量基本保持不变,而冷杉林在 4 h 以后就基本达到饱和,云杉林需要 10 h 才基本达到饱和状态。4 种不同类型林分的持水量在最初浸泡的 0.5 h 内吸水量变化是最大的,冷杉林最初的 0.5 h 持水量占饱和持水量的 84.03%,落叶松林占 73.73%,云杉林占 68.91%,华山松林占 79.08%,最初浸泡的 0.5 h 内持水量占最大持水量比例越大则达到饱和所用时间越短,冷杉林所占比例最大,达到饱和所用时为 4 h,然后是华山松林达到饱和用时 6 h,其他两种稍大于 2 h,这与林分类型和地被物的成分以及分解状态有关。

表 2 不同林分类型地被物的蓄积量

| 林分<br>类型 | 地被物<br>名称 | 厚度/<br>cm | 鲜储量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 干重/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 蓄积量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 总蓄积量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) |
|----------|-----------|-----------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 冷杉林      | 枯落物       | 5.83±0.40 | 41.70±5.66                    | 15.02±3.01                   | 8.92±1.91                     | 28.96±2.77                     |
|          | 木残体       | —         | 76.31±13.51                   | 37.71±10.22                  | 16.80±0.76                    |                                |
|          | 苔藓        | 1.33±0.15 | 12.87±1.04                    | 3.59±0.12                    | 3.24±0.10                     |                                |
| 落叶松林     | 枯落物       | 5.97±0.21 | 18.08±4.47                    | 6.55±1.62                    | 5.19±1.48                     | 16.17±3.70                     |
|          | 木残体       | —         | 16.88±3.00                    | 9.05±1.15                    | 8.78±2.10                     |                                |
|          | 苔藓        | 1.07±0.15 | 8.15±0.63                     | 1.67±0.23                    | 2.20±0.12                     |                                |
| 云杉林      | 枯落物       | 3.77±0.41 | 13.97±0.26                    | 4.86±0.09                    | 3.38±0.17                     | 11.75±0.36                     |
|          | 木残体       | —         | 20.30±0.10                    | 10.64±0.14                   | 6.55±0.12                     |                                |
|          | 苔藓        | 1.12±0.11 | 4.65±0.21                     | 1.56±0.04                    | 1.82±0.07                     |                                |
| 华山松林     | 枯落物       | 3.42±0.18 | 13.75±3.19                    | 4.37±1.11                    | 4.03±1.28                     | 14.36±3.55                     |
|          | 木残体       | —         | 23.91±3.41                    | 9.99±0.96                    | 8.37±2.00                     |                                |
|          | 苔藓        | 1.24±0.17 | 7.80±0.29                     | 3.40±0.10                    | 1.96±0.27                     |                                |

表 3 不同林分类型下地被物持水动态

| 林分名称 | 浸泡时间/h |       |       |       |       |       |       | t/hm <sup>2</sup> |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
|      | 0.5    | 1     | 1.5   | 2     | 4     | 6     | 10    |                   |
| 冷杉林  | 60.86  | 63.47 | 67.55 | 65.16 | 71.43 | 71.27 | 72.21 | 72.43             |
| 落叶松林 | 39.32  | 42.65 | 45.54 | 46.59 | 48.94 | 52.40 | 53.24 | 53.33             |
| 云杉林  | 21.59  | 24.72 | 26.72 | 26.35 | 27.58 | 28.51 | 31.12 | 31.33             |
| 华山松林 | 27.18  | 28.08 | 29.52 | 30.44 | 32.37 | 34.51 | 34.53 | 34.37             |

3.3 不同林分类型地被物层持水率与浸水时间的关系

持水率也是反映吸水能力的一个重要指标,不同

林分类型植物吸收的水分与干重的比值越大,说明它的吸水能力越强。不同林分地被物持水率与随浸泡

时间的变化表明:在浸泡前 2 h 时间内,持水率迅速增加,2 h 以后增加幅度减缓,而在 6 h 时持水率基本达到最大,以后持水率增幅基本接近于 0。从图 1 上可以看出落叶松林的持水率在任何时间段都比其他林分的高,其次是冷杉林,在最初的 0.5 h 内华山松林的持水率大于云杉林,但是以后云杉林的持水率大于华山松林。不同林分类型持水率达到饱和的所需时间也不相同,冷杉林和华山松林当浸泡 4 h 时基本达到饱和,云杉林和落叶松林浸泡 6 h 才基本达到饱和。冷杉林和落叶松林在浸泡的钱 4 h 内的增幅比较大,而云杉林和华山松林浸泡 1 h 时增幅较大,在浸泡 6 h 时才基本达到饱和。

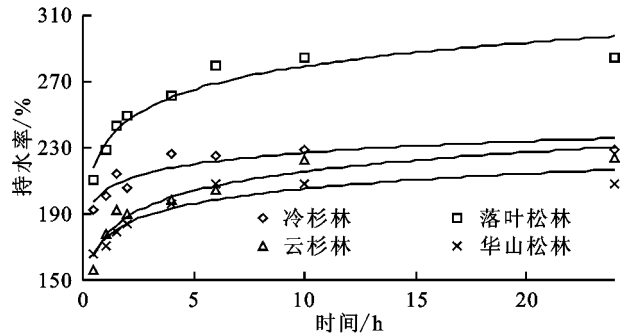


图 1 林下地被物持水率与浸泡时间的关系

对不同地被物持水率与浸泡时间的关系进行回归分析,二者之间存在着对数关系:

$$W=a\ln(t)+b$$

式中: $W$  为地被物持水率(mm); $t$  地被物浸泡时间; $a$  为方程回归系数; $b$  为方程常数项。由地被物与浸泡时间所拟合的方程见表 4。

表 4 不同林分类型地被物层吸水速率与浸水时间的回归方程

| 林分类型 | 持水率与时间                |       | 吸水速率与时间            |        |
|------|-----------------------|-------|--------------------|--------|
|      | 关系式                   | $R^2$ | 关系式                | $R^2$  |
| 冷杉林  | $W=10.05\ln(t)+203.8$ | 0.926 | $W=64.32t^{-0.95}$ | 0.9990 |
| 云杉林  | $W=16.97\ln(t)+176.4$ | 0.929 | $W=24.41t^{-0.90}$ | 0.8849 |
| 华山松林 | $W=10.04\ln(t)+175.2$ | 0.898 | $W=28.81t^{-0.99}$ | 0.9988 |
| 落叶松林 | $W=20.49\ln(t)+232.2$ | 0.926 | $W=43.21t^{-0.91}$ | 0.9990 |

3.5 不同林分类型地被物持水能力

4 种不同林分类型不同地被物的最大持水率、最大拦蓄量、总有效拦蓄深等各持水能力指标见表 5,由表 5 可以看出枯落物自然含水率华山松林的最高为 69%,其他 3 种林分自然含水率都在 64%左右,木残体的自然含水率与枯落物的自然含水率表现形式一样,也是华山松最大,其次是冷杉林,其他两种最小相差不大。而苔藓的自然含水率华山松最小,落叶松最大与冷杉林的苔藓相差不大。冷杉林的三种地被物自然含水率虽然都不高,但是冷杉林的自然含水量却是最高,枯落物自然含水量为 26.67 t/hm<sup>2</sup>,是落叶松林的 2.31 倍,是华

3.4 不同林分类型地被物层吸水速率与浸水时间的关系

4 种不同林分类型吸水速率变化一致,随着浸泡时间的增大,吸水速率逐渐减小。在最初的 0.5 h 时吸水速率冷杉林最大为 121.73 t/hm<sup>2</sup>,是速率最小的云杉林 43.18 t/hm<sup>2</sup> 的 2.82 倍,接着是落叶松林 (78.63 t/hm<sup>2</sup>) 和华山松林 (54.37 t/hm<sup>2</sup>)。随着时间的增多他们的吸水速率减小,在 10 h 以后由图 2 中可以看到吸水速率很小,曲线基本处于一条直线,在 24 h 时地被物吸水速率都接近与常数 0,其他林分也表现出类似的现象。在各个时间段冷杉林的吸水速率总是最大,这与冷杉林的持水能力强一致。

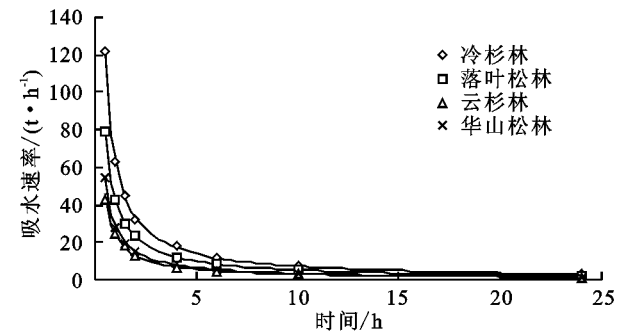


图 2 吸水速率与浸泡时间的关系

从不同林分类型林下地被物吸水速率与浸水时间之间的关系可以看出,吸水速率与浸水时间之间有较强的相关性,对他们之间的关系进行回归分析,二者之间存在着如下关系:由分析拟合得到不同树种林下地被物未分解层及半分解层吸水速率  $W$  与浸泡时间  $t$  的回归方程表 4 所示。

山松林的 2.84 倍,也是云杉林的 2.92 倍;木残体和苔藓的自然含水量也和枯落物一样,冷杉林的最大,其次是落叶松林、华山松林和云杉林。这与它的总蓄积量有关,冷杉林 3 种地被物的蓄积量最大,这与顾宇书等人的研究相似;枯落物自然含水率落叶松林的最小但是它的最大持水率最大为 359%,华山松林的最小为 249%,木残体最大持水率与枯落物相似;苔藓的最大持水率落叶松的最大为 1 001%,云杉林最小为 577%,最大拦蓄量和蓄积量的表现形式一样,都是冷杉林最大,云杉林最小,中间依次是落叶松林和华山松林。总有效持水量冷杉林最大 41.99 t/hm<sup>2</sup>,其次是落叶松林 33.91

t/hm<sup>2</sup>, 华山松林和云杉林相差不大, 分别是 21.77, 21.00 t/hm<sup>2</sup>。自然含水量、最大持水率、最大拦蓄量、有效拦蓄量和总有效拦蓄深之间变化规律是一致的, 及他们都表现出冷杉林>落叶松林>云杉林>华山松林; 虽

然冷杉林的最大持水率不高, 最大拦蓄量、有效拦蓄率均不高, 但是他的自然含水量、最大持水率、最大拦蓄量均很大, 地被物的持水能力强, 因此在保持水土和涵养水源过程中发挥重要的作用。

表 5 地被物的总拦蓄能力

| 林分类型 | 地被物类型 | 自然含水量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 自然<br>含水率/% | 最大持水量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 最大<br>持水率/% | 最大<br>拦蓄率/% | 有效拦蓄量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 有效拦<br>蓄率/% | 蓄积量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 最大拦蓄量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 总有效拦蓄量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) |
|------|-------|---------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|-------------|---------------------------------|-------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 云杉   | 枯落物   | 9.11±0.18                       | 0.65±0.01   | 9.33±0.12                       | 2.76±0.18   | 2.22±0.17   | 5.72±0.20                       | 1.70±0.15   | 3.38±0.17                     | 7.11±0.22                       |                                  |
|      | 木残体   | 9.65±0.05                       | 0.48±0.06   | 12.54±0.21                      | 1.91±0.01   | 1.44±0.06   | 7.55±0.56                       | 1.16±0.06   | 6.55±0.12                     | 9.43±0.19                       | 21.00±0.99                       |
|      | 苔藓    | 3.10±0.18                       | 0.67±0.06   | 10.52±0.33                      | 5.77±0.04   | 5.11±0.05   | 7.73±0.23                       | 4.24±0.04   | 1.82±0.07                     | 9.31±0.28                       |                                  |
| 落叶松  | 枯落物   | 11.53±3.16                      | 0.64±0.05   | 18.26±4.27                      | 3.59±0.56   | 2.95±0.61   | 12.19±2.98                      | 2.41±0.52   | 5.19±1.48                     | 14.92±3.60                      |                                  |
|      | 木残体   | 7.83±1.88                       | 0.46±0.03   | 10.43±0.91                      | 1.23±0.25   | 0.77±0.28   | 4.78±0.72                       | 0.58±0.24   | 8.78±2.10                     | 6.34±0.68                       | 33.97±6.05                       |
|      | 苔藓    | 6.48±0.40                       | 0.78±0.01   | 22.05±2.83                      | 10.01±0.81  | 9.21±0.83   | 17.00±2.35                      | 7.71±0.70   | 2.20±0.12                     | 20.31±2.78                      |                                  |
| 冷杉林  | 枯落物   | 26.67±2.80                      | 0.64±0.03   | 23.09±5.10                      | 2.59±0.18   | 1.94±0.20   | 13.93±3.42                      | 1.56±0.17   | 8.92±1.91                     | 17.40±4.18                      |                                  |
|      | 木残体   | 38.60±4.66                      | 0.51±0.05   | 26.63±3.03                      | 1.58±0.11   | 1.07±0.08   | 14.03±1.63                      | 0.84±0.24   | 16.80±0.76                    | 18.02±0.76                      | 41.99±6.10                       |
|      | 苔藓    | 9.28±0.91                       | 0.72±0.01   | 19.26±1.34                      | 5.93±0.24   | 5.21±0.23   | 14.03±1.05                      | 4.32±0.19   | 3.24±0.10                     | 16.92±1.25                      |                                  |
| 华山松林 | 枯落物   | 9.38±2.07                       | 0.69±0.01   | 9.93±2.82                       | 2.49±0.16   | 1.81±0.20   | 5.69±1.57                       | 1.43±0.14   | 4.03±1.28                     | 7.18±1.98                       |                                  |
|      | 木残体   | 13.91±2.67                      | 0.58±0.04   | 13.61±2.81                      | 1.64±0.23   | 1.06±0.21   | 6.69±1.38                       | 0.82±0.17   | 8.37±2.00                     | 8.73±1.77                       | 21.77±3.91                       |
|      | 苔藓    | 4.40±0.23                       | 0.52±0.06   | 12.35±1.31                      | 6.31±0.21   | 5.74±0.22   | 9.39±0.96                       | 4.80±0.18   | 1.96±0.27                     | 11.25±1.15                      |                                  |

4 结论与讨论

(1) 4 种不同林分类型地被物的总蓄积量差别比较大, 在 11.75~28.96 t/hm<sup>2</sup> 之间, 冷杉林最大 (28.96 t/hm<sup>2</sup>), 其次是落叶松林 (16.17 t/hm<sup>2</sup>) 和华山松林 (14.36 t/hm<sup>2</sup>), 云杉林最小 (11.75 t/hm<sup>2</sup>)。随着地被物厚度的增加总蓄积量也在增加。地被物累积量大小主要取决于植物群落生产力, 同时还依赖于气候、土壤肥力、土壤含水量和物种组成。

(2) 利用浸水试验测定的不同地被物持水率与浸泡时间、吸水速率与浸泡时间的动态变化规律。随着时间的增加持水率不断增加, 但增加速度在前 1 h 内比较快, 1 h 后逐渐减慢, 浸泡达到 6 h 以后, 增速不明显, 趋于一常数 0, 不同林分地被物持水率与浸泡时间呈正相关性, 这与魏强等人 (甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性) 的研究相似。4 中不同林分类型地被物持水率与浸泡时间存在  $W=aln(t)+b$  的关系, 这与张峰、魏强等人研究一致。4 种不同林分最大持水率最大的是落叶松林, 最小是冷杉林, 虽然落叶松林的最大持水率最大, 但是由于蓄积量冷杉林的明显大于其他林分, 所以最大持水率冷杉林明显大于其他林分。地被物的吸水速率在 0.5 h 时最大, 然后逐渐减小, 在 12 h 时基本趋于一稳定常数, 不同林分类型地被物持水率与浸泡时间存在  $V=kt^n$  的关系。

(3) 地被物持水能力主要取决于地被物蓄积量、最大持水率、平均自然含水量、有效拦蓄量和有效拦蓄深, 这与高俊琴 (三江平原小叶樟湿地地被物分解

及其影响因子研究) 等研究一致。在对白龙江上游 4 种不同林分类型的地被物研究的过程中, 冷杉林的蓄积量、自然含水量、有效拦蓄量和有效拦蓄深均最大, 落叶松林次之, 云杉林和华山松林最小; 有效拦蓄深冷杉林是华山松林的 2.88 倍, 最大拦蓄量冷杉林也是华山松林的 2.87 倍; 最大持水量、最大拦蓄率、蓄积量、有效拦蓄量冷杉林明显大于其他林分, 对降水的拦蓄作用冷杉林要强于其他林分。

浸水法作为一种方便的测定地被物层水特性的方法而被广泛应用。但是由于浸泡地被物时所用的纱布孔隙比较大, 在浸泡过程中以及取出的瞬间, 会有部分细小地被物随着水流而留在水中, 因此用此方法测得值比实际值要小一些, 从而影响了计算出的地被物持水特性。由此认为, 地被物持水特性 (如持水过程和最大持水率) 的研究方法还有待进一步改进。如运用人工洒水的方法制造一个天然降雨的方法, 研究地被物持水特性。

林地地被物是森林生态系统的重要组成部分, 地被物层是森林截留降水的重要环节, 而地被物的持水能力是反映地被物截留降水能力的主要部分<sup>[15-18]</sup>, 地被物层是保障白龙江上游地区森林充分发挥水土保持和水源涵养功能的一个极其重要的水文层次, 具有明显的蓄水保水作用, 地被物层的持水性能因树种及其蓄积量大小的不同而变化。本文对研究该区域的森林内地被物的生态水文效应仅仅是一个开始, 今后还要对地被物的组成结构、理化性质、养分归还情况等多方面进行长期的深入研究, 为全面研究白龙江上游森林生态水文效应奠定基础。

## 参考文献:

- [1] 朱金兆,刘建军,朱清科,等.森林凋落物层水文生态功能研究[J].北京林业大学学报,2002(6):30-34.
- [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] 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.
- [4] 侯平,潘存德.森林生态系统中的粗死木质残体及其功能[J].应用生态学报,2001,12(2):309-314.
- [5] Sato Y, Kumagai T, Kume A, 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.
- [6] 朱继鹏,王芳,高甲荣.吉县蔡家川流域不同森林植被的林地水源涵养功能[J].水土保持研究,2006,13(1):111-113.
- [7] 王飞,郭星,陈国鹏,等.甘肃白龙江亚高山杜鹃粗木质残体腐烂程度与持水性能研究[J].西藏大学学报,2015,30(2):44-49.
- [8] 王阳临.白龙江林区垂直带划分[C]//白龙江洮河林区综合考察论文集.上海:科学技术出版社,1991,11(7):33-35.
- [9] 程金花,张洪江,余新晓,等.贡嘎山冷杉纯林地被物及土壤持水特性[J].北京林业大学学报,2002,24(3):45-49.
- [10] 顾宇书,邢兆凯,韩友志,等.浑河上游 4 种典型林分类型枯落物持水特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(1):31-36.
- [11] 沈盈佳,曾建军.保山北庙水库集水区 5 种森林类型枯落物持水特性研究[J].长江科学院院报,2015,32(1):43-48.
- [12] 彭少麟,刘强.森林凋落物动态及其对全球变暖的响应[J].生态学报,2002,22(9):1534-1544.
- [13] 吴毅,刘文耀,沈有信,等.滇石林地质公园喀斯特山地天然林和人工林凋落物与死地被物的动态特征[J].山地学报,2007,25(3):317-325.
- [14] Pausas J G. Litter fall and litter decomposition in *Pinus sylvestris* forests of the eastern Pyrenees[J]. Journal of Vegetation Science, 1997:643-650.
- [15] 刘洋,张健,杨万勤,等.川西高山树线群落交错带地被物及土壤的水文效应[J].林业科学,2011,47(3):1-6.
- [16] 时忠杰,王彦辉,徐丽宏,等.六盘山主要森林类型枯落物的水文功能[J].北京林业大学学报,2009(1):91-99.
- [17] 高俊琴,欧阳华,吕宪国,等.三江平原小叶章湿地枯落物分解及其影响因子研究[J].水土保持学报,2004,18(4):121-124.
- [18] 尹光彩,周国逸,刘景时,等.鼎湖山针阔叶混交林生态系统水文效应研究[J].热带亚热带植物学报,2004,12(3):195-201.
- ~~~~~
- (上接第 241 页)
- [7] Wu Y, Bake B, Zhang J, et al. Spatio-temporal patterns of drought in North Xinjiang, China, 1961—2012 based on meteorological drought index[J]. Journal of Arid Land, 2015,7(4):527-543.
- [8] 中国农业年鉴编辑委员会.中国农业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2008:179-180.
- [9] 吴燕锋,巴特尔·巴克,加依娜古丽·窝扎提汗,等.石河子地区近 50a 霜期的变化特征[J].干旱区资源与环境,2014,9(9):173-178.
- [10] 熊黑钢,张雅.新疆石河子市土地利用数量变化研究[J].水土保持研究,2007,14(6):416-420.
- [11] 赵一飞,张勃,张多勇,等.甘肃河东地区地表湿润特征及其气候影响因子[J].地理科学进展,2013,32(1):95-104.
- [12] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper56[M]. FAO, Rome, 1998.
- [13] 吴燕锋,巴克巴特尔,李维,等.阿勒泰地区参考作物蒸散量时空变化特征[J].水土保持研究,2015,22(5):260-265.
- [14] 周瑾龙,虎胆·吐马尔白,董新光,等.新疆平原区大气降水、灌溉水、土壤水与地下水转化关系研究[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2002:39.
- [15] 凌红波,徐海量,史薇.新疆石河子地区降水量变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2010,2(2):96-101.
- [16] 范丽红,何清,崔彦军,等.近 40a 石河子地区气候暖湿化特征分析[J].干旱气象,2006,24(1):14-17,27.
- [17] 施雅风,沈永平,胡汝骥.西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J].冰川冻土,2002,24(3):219-226.
- [18] 施雅风,沈永平,李栋梁,等.中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J].第四纪研究,2003,23(2):152-163.
- [19] 张国威,吴素芬,王志杰.西北气候环境转型信号在新疆河川径流变化中的反映[J].冰川冻土,2003,25(2):183-187.
- [20] 赖先齐,张风华,李鲁华,等.新疆石河子地区沙漠增温效应对绿洲农业影响的研究[J].干旱区资源与环境,2003,17(6):119-123.