

云冷杉针阔混交林枯落物持水性能

杜雪¹, 王海燕¹, 耿琦¹, 毛建国², 王一格¹

(1.北京林业大学林学院, 北京 100083; 2.吉林省汪清县林业局, 吉林 汪清 133200)

摘要: 以吉林省汪清县林业局天然云冷杉针阔混交林为研究对象, 选取 4 块具有代表性的 1 hm² 方形固定样地分别设置 0, 6.29%, 11.22% 和 21.21% 4 种采伐强度, 测定了各采伐强度下枯落物的现存量, 并采用室内浸水法对不同分解阶段枯落物持水能力(最大持水量、最大持水率、有效拦蓄量等)进行研究。结果表明: (1) 4 种采伐强度的枯落物总现存量为 29.04~35.26 t/hm²。(2) 随采伐强度增加, 新鲜层和完全分解层枯落物最大持水量和有效拦蓄量均呈现先降低再增加随后又降低的规律, 而半分解层枯落物则表现为先增加再降低随后又增加的趋势。(3) 采伐强度对枯落物的持水能力无显著影响, 而分解阶段对其影响极显著; 双因素方差分析表明, 采伐强度和分解阶段的交互作用对枯落物持水性能影响显著。(4) 回归拟合分析表明, 在枯落物持水达到饱和状态前, 不同采伐强度下各分解阶段枯落物的持水量、持水率与浸泡时间存在对数函数关系, 吸水速率与浸泡时间存在幂函数关系。因此, 适度的采伐不会对枯落物的持水性能产生显著的负面影响, 分解阶段则是影响云冷杉针阔混交林枯落物持水性能的重要因素, 而二者的交互作用能够显著影响枯落物的持水性能。

关键词: 枯落物; 持水特性; 云冷杉针阔混交林; 采伐强度

中图分类号: S715

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)02-0361-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.02.048

Water Holding Capacity of Litter in Spruce-fir Coniferous and Broad-leaved Mixed Forest

DU Xue¹, WANG Haiyan¹, GENG Qi¹, MAO Jianguo², WANG Yige¹

(1.College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083;

2.Wangqing Forestry Bureau of Jilin Province, Wangqing, Jilin 133200)

Abstract: The natural spruce-fir coniferous and broad-leaved mixed forests in Wangqing Forestry Bureau of Jilin Province were taken as the research object, and four representative square fixed plots of 1 hm² were set up with a cutting intensity of 0, 6.29%, 11.22% and 21.21%. The standing crop of litter under various cutting intensities was measured, and the water holding capacity (maximum water holding capacity, maximum water holding rate, effective retention capacity, etc.) of litter at different decomposition stages was studied using an indoor immersion method. The results showed that: (1) The total standing crop of litter in the four cutting intensities was between 29.04 and 35.26 t/hm². (2) With the increase of cutting intensities, the maximum water holding capacity and effective interception capacity of litter in the fresh horizon and complete decomposed horizon decreased first, then increased and decreased again, whereas the opposite trend was found for the litter in the semi-decomposed horizon. (3) The cutting intensity had no significant effect on the water holding capacity of litter, but the decomposition stage had a significant impact on it. The two-way analysis of variance showed that the interaction between the cutting intensity and the decomposition stage had a significant influence on the water holding capacity of litter. (4) The regression fitting indicated that there was a logarithmic function relationship between the water holding capacity, water holding rate and immersion time of litter in each decomposition stage under different cutting intensities, and there was a power function relationship between water absorption rate and immersion time before the litter

收稿日期: 2020-08-26

资助项目: 国家重点研发计划重点专项(2017YFC0504002)

第一作者: 杜雪(1996—), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤学研究。E-mail: duxue_my@126.com

通信作者: 王海燕(1972—), 女, 博士, 副教授, 主要从事土壤学、植物营养学研究。E-mail: haiyanwang72@aliyun.com

reached the saturation state. Therefore, moderate cutting would not have a significant negative impact on the water holding capacity of the litter, the decomposition stage was an important factor affecting the water holding capacity of the litter in the spruce-fir coniferous and broad-leaved mixed forest, and the interaction of decomposition stage and cutting intensity could significantly affect the water holding capacity of litter.

Keywords: litter; water holding characteristics; spruce-fir coniferous and broad-leaved mixed forest; cutting intensity

枯落物主要由森林中植物残体组成,是森林生态结构的重要组成部分,其结构疏松,透水性能良好^[1],具有拦截降水、阻截地表径流、减少土壤水分蒸发和土壤流失及调节土壤养分的有效性等功能^[2-4],在保持水土、涵养水源和维持森林水文循环等方面发挥重要作用^[5-8]。

采伐作为森林经营的手段之一,通过改变林分密度来调节林木生长环境和森林生态结构^[9-12],影响土壤理化性质及林木和森林下垫面(枯落物和林下植物)的结构组成,进而影响森林水文循环及其生态功能。

东北林区作为我国最大的天然林区,森林立地条件好,群落结构复杂,植物种类繁多,具有丰富的森林资源,天然云冷杉针阔混交林为该林区典型林分类型之一。近年来,在东北林区的研究主要围绕土壤养分分析^[13-14]和林分结构^[15]等方面展开,而关于云冷杉针阔混交林枯落物持水特性的研究鲜有,结合采伐强度研究枯落物的持水性能在东北林区则更为少见。因此,本文以吉林省汪清林业局金沟岭林场天然云冷杉针阔混交林为研究对象,探究采伐强度对不同分解阶段枯落物持水能力(最大持水量、最大持水率、有效拦蓄量)和持水过程(持水量、持水率和吸水速率)的影响,以期为合理经营森林资源以发挥其涵养水源和水土保持功能提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区设置在吉林省汪清县林业局金沟岭林场(130°05′—130°20′E,43°17′—43°25′N),海拔 360~1 500 m,为低山丘陵地貌,地势低缓,坡度范围为 3°~5°。属温带季风气候,年均气温约 3.9℃,年积温 2 100℃以上,年降水量约 580 mm,雨热同期。玄武岩、片麻岩和花岗岩是主要的成土母岩,土壤主要类型为暗棕壤。天然针阔混交林、杨桦林和落叶松林等是主要的森林群落类型,主要的针叶树种有臭冷杉(*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.)、鱼鳞云杉(*Picea jezoensis* var. *microsperma* (Lindl.) Cheng et L.K.Fu)、红皮云杉(*Picea koraiensis* Nakai)、长白落叶松(*Larix olgensis* Henry)和红松(*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.)等;主要阔叶树种有白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、大青杨(*Populus ussuriensis* Kom.)、紫椴(*Tilia amurensis* Rupr.)和水曲柳(*Fraxinus mandschurica* Rupr.)等。

1.2 样地设置

在云冷杉针阔混交林(中龄林)中选取 4 块具有代表性的 1 hm² 方形固定样地(土壤呈酸性,有机质含量均值为 6.02%),于 2015 年 1 月按照 0(CK),6.29%(轻度),11.22%(中度)和 21.21%(重度)的蓄积量强度进行间伐。各样地的基本情况见表 1。

表 1 样地基本情况

样地	海拔/ m	坡度/ (°)	经度/ (°)	纬度/ (°)	坡向	采伐 强度/%	蓄积量/ (m ³ ·hm ⁻²)	林分密度/ (株·hm ⁻²)	平均 树高/m	平均 胸径/cm	树种组成
1	773	3	130.26	42.38	东北	0	209.10	1437	15.1	14.0	3 落 2 水 1 红 1 冷 1 枫 1 白 1 云
2	732	5	130.25	42.38	东北	6.29	201.00	1167	11.4	12.3	2 冷 1 红 1 白 1 云 1 落 1 椴 1 枫 1 杨 1 杂
3	769	5	130.25	42.38	东北	11.22	218.10	1301	13.6	13.7	2 落 2 云 1 冷 1 红 1 白 1 枫 1 杨 1 椴
4	742	3	130.25	42.38	东北	21.21	173.89	934	13.9	14.5	2 冷 2 落 1 云 1 红 1 椴 1 枫 1 白 1 杂

注:落为长白落叶松;水为水曲柳;红为红松;冷为臭冷杉;枫为枫桦;白为白桦;云为鱼鳞云杉;椴为紫椴;杨为大青杨;杂为杂木。

1.3 枯落物采集

每块样地按网格法设置 100 个 10 m×10 m 的样方,于 2017 年 8 月下旬(降水、气温等环境因子相似的时间段)在每个样方中心选取面积为 50 cm×50 cm 的小样方,用手拣出最上层肉眼可以辨别的少量的新鲜枯落物后,继续采集位于其下方的半分解层枯落物(叶片已没有完整外观轮廓,大多数凋落物已经成碎末状,颜色为褐色^[16]),最后采集位于最底层的

颜色变黑、已达到腐朽状态的完全分解层的枯落物,分别称重。同年 10 月收集新鲜枯落物并称重。

1.4 枯落物持水性能测定

枯落物的持水量、持水率和吸水速率采用室内浸水法进行测定。每块样地沿对角线方向随机选取 5 个样方,每个样方均取 3 个分解阶段(新鲜、半分解、完全分解)的枯落物,4 块样地共取 60 个枯落物样品。于 2018 年 10 月准确称量枯落物样品后将其置于 80℃ 的烘箱

内烘干,记录其达到恒重时的质量。然后将烘干后的枯落物样品分别装入 400 目尼龙网袋并测量其质量。随后将其置于清水中分别浸泡 0.5,1,2,4,6,8,10,24 h 后取出,悬挂沥水,于不再滴水时迅速测量此刻样品和尼龙网袋的总质量。每个样品进行 3 次重复。枯落物持水性能指标的计算方法^[17]为:

(1) 枯落物自然含水率(R_0)

$$R_0=(G-G_d)/G_d\times100\%$$

式中: G 为样方内枯落物鲜重(g); G_d 为样方内枯落物干重(g)。

(2) 枯落物持水量(m)

$$m=m_i-m_1$$

式中: m_i 为浸水 t 时刻时枯落物及尼龙网袋的质量(g); m_1 为浸水前枯落物干重及尼龙网袋的质量(g)。以 24 h 时的持水量为最大持水量,记作 $m_{h\max}$ 。

(3) 枯落物持水率(L)

$$L=m/m_0\times100\%$$

式中: m 为枯落物持水量(g); m_0 为枯落物干重(g)。以 24 h 时的持水率为最大持水率,记作 $L_{h\max}$ 。

(4) 枯落物有效拦蓄量(M_i)

$$M_i=(0.85L_{h\max}-R_0)\times M$$

式中: M 为枯落物现存量(t/hm^2)。

(5) 枯落物吸水速率(V)

$$V=m_i/t$$

式中: m_i 为浸水 t 时刻枯落物的持水量(g); t 为枯落物浸水时间(h)。

1.5 数据处理

测定烘干至恒重的枯落物质量,以此估算单位面积上枯落物的现存量;采用 Excel 2010 拟合枯落物持水过程的函数模型;采用 SPSS 24.0 分别对不同采伐强度和不同分解阶段枯落物持水能力的相应指标(最大持水量、最大持水率、有效拦蓄量)进行单因素方差分析、双因素方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 枯落物的现存量

随林地采伐强度增加,枯落物的总现存量呈现先降低后增加随后又降低的趋势。其中,现存量的最大值出现在中度采伐(11.22%)样地,为 35.26 t/hm^2 ,相比于对照样地(0)现存量 34.12 t/hm^2 较高;而轻度采伐(6.29%)和重度采伐(21.21%)样地的现存量分别为 29.04 t/hm^2 和 31.02 t/hm^2 ,均低于对照样地。

不同采伐强度下云冷杉针阔混交林的枯落物现存量均表现为半分解层>完全分解层>新鲜层(表 2)。新鲜层枯落物现存量为 1.54~4.10 t/hm^2 ,占枯落物现存总量比例为 4.97%~13.29%,其最大值出现在对照样地,最小值出现在重度采伐下的样地;半分解层的现存量范围在 17.42~22.46 t/hm^2 ,占枯落物现存量总量的 49.40%~72.40%,其最大值出现在重度采伐样地,最小值出现在中度采伐样地;完全分解层枯落物现存量为 6.73~13.93 t/hm^2 ,占枯落物现存量总量的比例为 22.63%~39.51%,最大值出现在中度采伐样地,最小值出现在轻度采伐样地。

表 2 不同采伐强度下不同分解阶段枯落物的现存量

采伐 强度/%	新鲜层		半分解层		完全分解层	
	现存量/ ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	所占 比例/%	现存量/ ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	所占 比例/%	现存量/ ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	所占 比例/%
0	4.10	12.02	19.65	57.59	10.37	30.39
6.29	3.86	13.29	18.45	63.53	6.73	23.18
11.22	3.91	11.09	17.42	49.40	13.93	39.51
21.21	1.54	4.97	22.46	72.40	7.02	22.63

2.2 枯落物的持水能力

2.2.1 最大持水量 不同采伐强度下云冷杉针阔混交林各分解阶段枯落物的累积最大持水量范围为 85.05~103.73 t/hm^2 。除中度采伐(11.22%)外,其余不同采伐强度下样地枯落物的最大持水量均表现为半分解层>完全分解层>新鲜层。其中,半分解层枯落物最大持水量为 42.99~55.11 t/hm^2 ,均值为 49.41 t/hm^2 ;完全分解层枯落物最大持水量为 22.58~46.28 t/hm^2 ,均值为 33.19 t/hm^2 ;新鲜层枯落物最大持水量为 3.73~12.77 t/hm^2 ,均值为 9.60 t/hm^2 (表 3)。随采伐强度增加,新鲜层和完全分解层枯落物最大持水量均呈现先降低再增加随后又降低的规律,而半分解层枯落物最大持水量则表现为先

增加再降低随后又增加。

对不同采伐强度和不同分解阶段下云冷杉针阔混交林枯落物的最大持水量分别进行单因素方差分析,结果表明,不同采伐强度下的枯落物最大持水量之间无显著差异($P>0.05$),而各分解阶段枯落物的最大持水量之间均呈显著差异($P<0.05$);经多重比较发现,3 个分解阶段(新鲜、半分解、完全分解)的枯落物的最大持水量两两之间均差异显著。

2.2.2 最大持水率 不同采伐强度下云冷杉针阔混交林各分解阶段枯落物最大持水率有所差异,变化规律也不尽相同(表 4)。除了采伐强度为 6.29%的轻度采伐样地,其余样地枯落物的最大持水率随分解程度的增加均表现为先减小后增大的趋势,即完全分解

层>新鲜层>半分解层。新鲜层的枯落物最大持水率随采伐强度增加表现出先降低后增加的规律,其最大值出现在未经采伐的对照样地,为 306.51%;最小值出现在轻度采伐样地,为 242.64%。半分解状态的枯落物最大持水率随采伐强度增加呈现出先增加再降低的趋势,其中枯落物最大持水率最高是轻度采伐样地,为 304.99%;最低是重度采伐样地,为 234.91%。完全分解层的最大持水率随采伐强度增加表现为先降低后增加,其范围为 306.17%~347.53%,最小值和最大值分别出现于中度采伐和对照样地。

表 3 不同采伐强度下不同分解阶段枯落物的最大持水量				
单位:t/hm ²				
采伐强度/%	新鲜层	半分解层	完全分解层	均值
0	12.22±5.16	42.99±12.78	37.69±15.05	30.97±16.45a
6.29	9.69±4.61	54.85±22.65	22.58±10.81	29.04±23.26a
11.22	12.77±7.26	44.68±8.63	46.28±17.21	34.58±18.90a
21.21	3.73±2.01	55.11±23.76	26.21±8.68	28.35±25.76a
均值	9.60±4.14a	49.41±6.47c	33.19±10.85b	

注:表中数据为均值±标准差;同行(或同列)不同字母表示不同分解阶段(采伐强度)下差异显著($P<0.05$)。下同。

对不同采伐强度和不同分解阶段下云冷杉针阔混交林枯落物的最大持水率分别进行单因素方差分析,结果表明,不同采伐强度下的枯落物最大持水率之间并无显著差异($P>0.05$),而各个分解阶段枯落物的最大持水率之间存在显著差异($P<0.05$);经多重比较发现,新鲜层和半分解层的最大持水率之间没有显著差异,但完全分解层和二者之间均差异显著。

表 4 不同采伐强度下不同分解阶段枯落物的最大持水率				
单位:%				
采伐强度/%	新鲜层	半分解层	完全分解层	均值
0	306.51±27.44	256.16±54.66	347.53±35.68	303.40±45.76a
6.29	242.64±38.90	304.99±32.71	316.63±54.90	288.09±39.79a
11.22	281.90±40.17	259.30±55.84	306.17±46.80	282.46±23.44a
21.21	294.86±38.92	234.91±22.48	330.94±49.25	286.90±48.51a
均值	281.48±27.77a	263.84±29.49a	325.32±17.95b	

2.3 枯落物的有效拦蓄能力

在不同采伐强度下,除重度采伐外,枯落物的自然含水率均表现为完全分解层>半分解层>新鲜层(表 5),但各分解阶段的枯落物随森林采伐强度的改变其自然含水率变化规律并不一致。其中,枯落物新鲜层的自然含水率随采伐强度增加而逐渐增加,其最大值为 58.36%(采伐强度 21.21%),最小值为 39.73%(采伐强度 0)。半分解层枯落物的自然含水率随采伐强度增加先降低再增加随后又降低,其最大值出现在中度采伐样地,为 77.60%,最小值出现在重度采伐样地,为 48.25%。枯落物完全分解层的自然

含水率随采伐强度增加而逐渐降低,其变化范围为 147.03%~171.83%,最大值和最小值分别出现在对照和重度采伐样地。

枯落物的有效拦蓄量根据枯落物现存量、最大持水率和自然含水率进行推算。不同分解阶段的枯落物有效拦蓄量整体变化规律为半分解层>完全分解层>新鲜层(表 5)。新鲜层枯落物有效拦蓄量随采伐强度增加表现为先降低再增加随后又降低,其中未采伐样地新鲜层有效拦蓄量最大,为 8.80 t/hm²;而重度采伐样地其值最小,为 2.53 t/hm²。随采伐强度增加,半分解层枯落物有效拦蓄量先增加再降低随后又增加,其最大值为 35.82 t/hm²(采伐强度 21.21%),最小值为 23.98 t/hm²(采伐强度 11.22%)。完全分解层有效拦蓄量同样随采伐强度增加而表现为先降低再增加然后又降低的规律,有效拦蓄量最高为 18.46 t/hm²(采伐强度 11.22%),最低为 8.65 t/hm²(采伐强度 6.29%)。

单因素方差分析结果表明,不同采伐强度下枯落物的有效拦蓄量之间无显著差异($P>0.05$),而不同分解阶段枯落物的有效拦蓄量之间存在显著差异($P<0.05$);经多重比较发现,各分解阶段枯落物的有效拦蓄量之间均差异显著。

表 5 不同采伐强度下不同分解阶段枯落物的自然含水率和有效拦蓄量				
分解阶段	采伐强度/%	自然含水率/%	有效拦蓄量/(t·hm ⁻²)	均值
新鲜层	0	39.73±3.22	8.80±3.72	6.54±2.85a
	6.29	43.52±4.08	6.52±3.23	
	11.22	56.64±1.82	8.30±4.83	
	21.21	58.36±22.15	2.53±1.55	
半分解层	0	70.42±18.09	24.49±9.15	29.92±6.57c
	6.29	60.28±6.16	35.38±14.11	
	11.22	77.60±39.78	23.98±13.51	
	21.21	48.25±8.70	35.82±16.56	
完全分解层	0	171.83±50.07	14.68±8.72	13.31±4.23b
	6.29	165.40±57.30	8.65±8.29	
	11.22	150.61±60.85	18.46±11.71	
	21.21	147.03±54.25	11.44±8.31	

注:表中数据为均值±标准差;同列不同字母表示不同分解阶段下差异显著($P<0.05$)。

2.4 采伐与分解阶段的交互作用与枯落物的持水能力

为探究采伐与分解阶段的交互作用对云冷杉针阔混交林枯落物持水能力的影响,对不同采伐强度下不同分解阶段的枯落物持水性能指标进行双因素方差分析。由表 6 可以看出,不同采伐强度下不同分解阶段的枯落物的最大持水量、最大持水率和有效拦蓄量均存在极显著差异($P<0.01$)。

表 6 不同采伐强度下不同分解阶段枯落物的持水性能指标的双因素方差分析($n=180$)			
分析指标	差异源	F	P
最大持水量	采伐强度	1.972	0.120
	分解阶段	135.095	0**
	采伐强度 $\times$ 分解阶段	6.460	0**
最大持水率	采伐强度	2.044	0.110
	分解阶段	32.822	0**
	采伐强度 $\times$ 分解阶段	7.020	0**
有效拦蓄量	采伐强度	0.084	0.969
	分解阶段	91.347	0**
	采伐强度 $\times$ 分解阶段	5.407	0**

2.5 枯落物持水过程

2.5.1 枯落物持水量与浸水时间的关系 枯落物的持水量和持水率通常用来衡量其持水性能。单位质量枯落物吸持水的质量为枯落物的持水量,而持水率则是单位质量枯落物吸持水的质量占枯落物干重的百分比。在持水性能指标测定实验中,枯落物质量均为 10.00 g,因此,持水量与持水率只是在数值上有所差异,其变化规律和拟合的曲线均一致。

从图 1 可以看出,将不同采伐强度下不同分解阶段的枯落物持水量随浸水时间的动态变化拟合为函数模型曲线,所得曲线均呈现出倒“J”形,说明其变化规律大致相同,即随着浸水时间的延长,持水量逐渐增加。在浸水 0~4 h 内,各个采伐强度下不同分解阶段枯落物的持水量迅速增大,为吸持阶段,其中不同采伐强度下半分解层和完全分解层的持水量增长较之新鲜层更为迅速;在 4 h 时,枯落物的持水量均达到了其饱和状态下持水量的 80% 以上;各个采伐强度下新鲜层和半分解层枯落物,在 4~10 h 内其持水量的增长速率均逐渐减缓,为其增持阶段,在 10 h 时,枯落物的持水量均已经达到其饱和持水量的 90% 以上;而各个采伐强度下的完全分解层其持水量在浸水 8 h 时就达到这一水平;在浸水后期,枯落物的持水量增长得极为缓慢,在 24 h 时,其持水量基本稳定,达到保持阶段。

对不同采伐强度下云冷杉针阔混交林不同分解阶段枯落物的持水量和浸水时间进行回归拟合发现,在枯落物持水达到饱和状态前,其持水量与浸水时间之间均符合对数函数关系,即:

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

式中: Q 为枯落物的持水量 (g/kg); t 为浸水时间 (h); a 为系数; b 为常数项。

各采伐强度下不同分解阶段枯落物的持水量与浸水时间的回归方程见表 7。除重度采伐 (21.21%) 下的完全分解层回归方程的 $R^2>0.8$ 外,其余各回归方程 R^2 均 >0.9 ,整体拟合效果好,说明在各采伐强

度下不同分解阶段枯落物的持水量和浸水时间均呈现出较好的对数函数关系,并且其浸水后持水量的理论值与实际情况相接近。

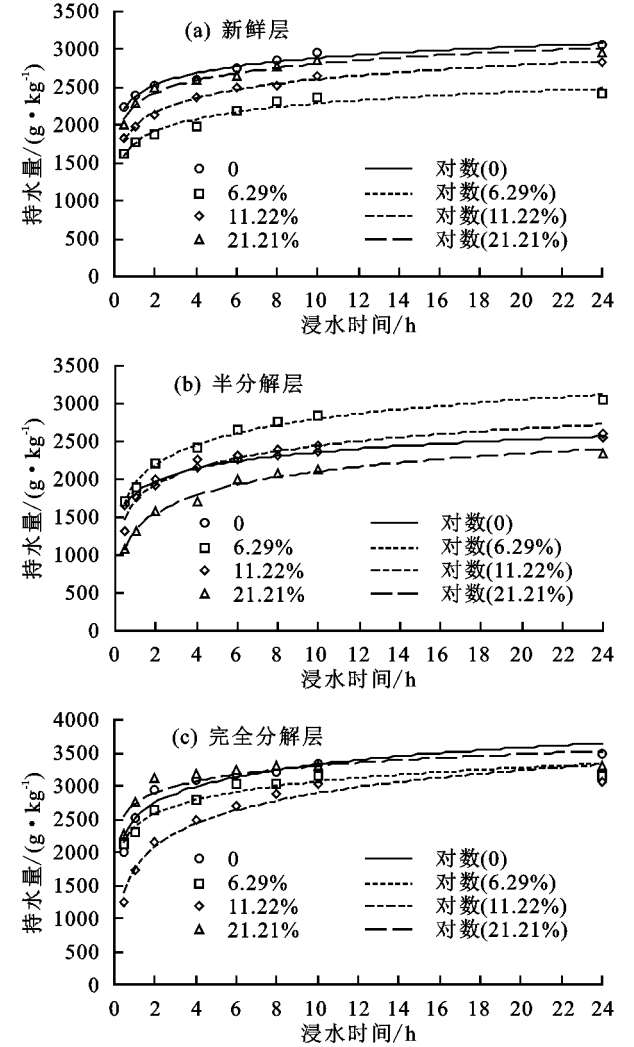


图 1 不同采伐强度下枯落物的持水量随浸水时间的变化

表 7 不同采伐强度下不同分解阶段枯落物的持水量与浸水时间的关系($n=60$)			
分解阶段	采伐强度/%	表达式	R^2
新鲜层	0	$Q=220.92\ln(t)+2378.1$	0.9774
	6.29	$Q=226.82\ln(t)+1764.8$	0.9594
	11.22	$Q=270.03\ln(t)+1986.2$	0.9935
	21.21	$Q=241.59\ln(t)+2254.4$	0.9628
半分解层	0	$Q=238.60\ln(t)+1811.7$	0.9933
	6.29	$Q=369.42\ln(t)+1949.4$	0.9900
	11.22	$Q=321.19\ln(t)+1707.9$	0.9479
完全分解层	21.21	$Q=342.44\ln(t)+1318.0$	0.9867
	0	$Q=364.03\ln(t)+2487.6$	0.9148
	6.29	$Q=303.14\ln(t)+2369.7$	0.9480
	11.22	$Q=500.29\ln(t)+1737.6$	0.9555
	21.21	$Q=254.31\ln(t)+2717.3$	0.8044

2.5.2 枯落物吸水速率与浸水时间的关系 将枯落物在不同浸水时间的持水量除以浸水时间间隔,可得

到枯落物吸水速率的动态变化,拟合吸水速率与浸水时间的函数模型(图 2)可以看出,不同采伐强度下各分解阶段所拟合出的函数曲线均呈现为“L”形,即不同采伐强度每个分解阶段的枯落物吸水速率随浸水时间的增加均呈现出逐渐减小的趋势。在浸水 0.5 h 时,枯落物的吸水速率最高,随即进入下降阶段;在浸水的前 4 h 内枯落物的吸水速率下降最快;随后在 4~10 h 内,枯落物吸水速率下降减缓,继续浸水至 10 h 后,吸水速率的变化趋于稳定状态;直至浸水达 24 h 时,枯落物的吸水速率已趋于零,吸水作用基本停止,此时枯落物已达到持水饱和状态。虽然在浸水的前期(0~4 h),不同采伐强度下各分解阶段枯落物的吸水速率有所差异,但随着时间的推移,枯落物的吸水速率接近一致,所拟合的函数模型曲线几乎重合。

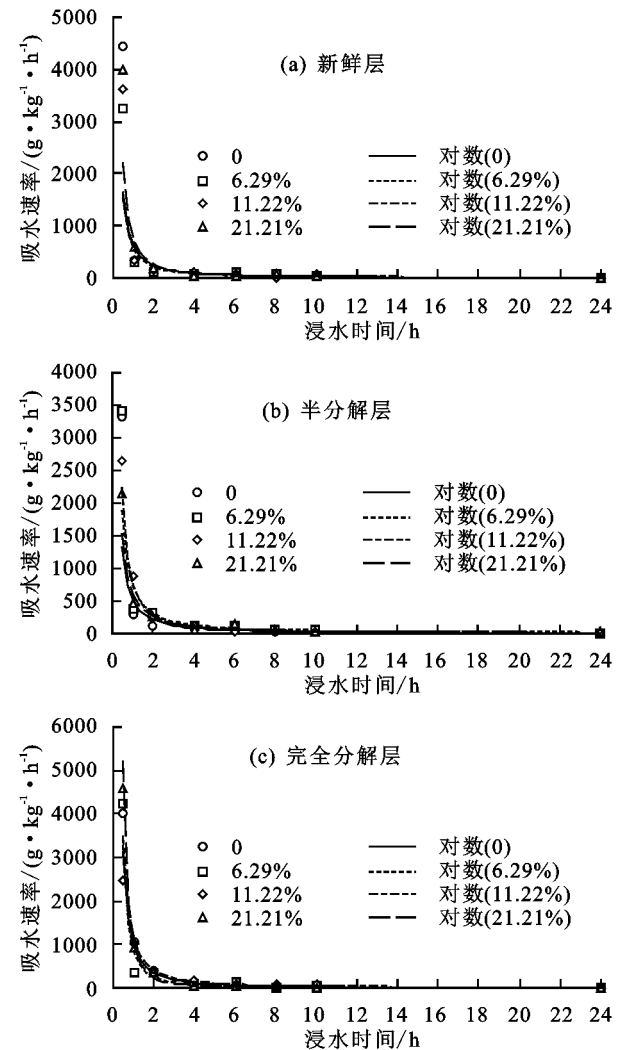


图 2 不同采伐强度下枯落物的吸水速率随浸水时间的变化

经回归分析发现,不同采伐强度下不同分解阶段枯落物的吸水速率与浸水时间之间均符合幂函数关系,即:

$$V=at^{-b}$$

式中: V 为枯落物的吸水速率($\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{h})$); t 为浸水

时间(h); a 为系数; b 为常数。

不同采伐强度下各分解阶段枯落物的吸水速率与浸水时间的回归方程见表 8。其中,除轻度采伐(6.29%)后的完全分解层枯落物回归方程的 $R^2>0.8$ 以外,其余枯落物回归方程的 R^2 均在 0.85 以上,整体上拟合效果较好。说明无论在何种采伐强度下,各分解阶段枯落物的吸水速率与浸水时间二者之间均存在着明显的幂函数关系,且吸水速率的理论值均与其实测值相近。

表 8 不同采伐强度下不同分解阶段枯落物的吸水速率与浸水时间的关系($n=60$)

分解阶段	采伐强度/%	表达式	R^2
新鲜层	0	$V=635.23t^{-1.367}$	0.8687
	6.29	$V=575.63t^{-1.394}$	0.8859
	11.22	$V=626.09t^{-1.319}$	0.8797
	21.21	$V=773.58t^{-1.515}$	0.9292
半分解层	0	$V=537.70t^{-1.293}$	0.8984
	6.29	$V=781.20t^{-1.269}$	0.9430
	11.22	$V=810.66t^{-1.469}$	0.9792
	21.21	$V=637.37t^{-1.250}$	0.9313
完全分解层	0	$V=1048.00t^{-1.585}$	0.9439
	6.29	$V=912.56t^{-1.832}$	0.8250
	11.22	$V=1209.30t^{-1.535}$	0.9080
	21.21	$V=1129.80t^{-2.208}$	0.9780

3 讨论

3.1 采伐对枯落物现存量的影响

枯落物的现存量反映了枯落物产生量与消耗量的动态平衡^[18],主要受森林中植物群落生产力、植物种类、气候、土壤、人类经营措施等因素的影响^[19-20]。采伐作为常见的经营措施,通过改变林分密度来调节林木生长环境和森林生态结构,进而影响枯落物的凋落与分解过程。

本研究中经不同采伐强度处理后的样地枯落物的总现存量大小顺序为中度采伐>对照>重度采伐>轻度采伐,这与李翔等^[21]的研究结果(天然云冷杉针阔混交林枯落物现存量重度采伐>对照>轻度采伐>中度采伐)不一致。可能因为李翔等^[21]计算的枯落物现存量只涉及半分解层,而本研究是新鲜层、半分解层和完全分解层之和。而在曹旭平等^[22]的研究中,枯落物现存量大小依次为对照>轻度采伐>中度采伐>重度采伐,本研究与之产生差异的原因一是研究样地不同,其立地条件、树种组成等因素存在差异;二是采伐强度不同,本研究采取的采伐强度相对较小。枯落物的总现存量随林地采伐强度增

加呈现先降低后增加随后又降低的趋势,其原因可能为轻度采伐下的林地植株减少,林分密度降低,枯落物的生产量也随之减小,导致现存量自然减少;而中度采伐后,林分密度进一步降低,出现林窗,使得草本灌木得到充足光照,从而增加了地上生物量^[23];再进一步加大采伐强度,林木大量减少,枯落物的输入量也随之大大降低,因而导致现存量降低^[24]。

3.2 采伐与分解阶段对枯落物持水能力的影响

枯落物的持水能力反映枯落物的持水特性,通常采用最大持水量、最大持水率和有效拦蓄量等3个指标进行研究^[25]。

在本研究中,不同分解阶段的枯落物最大持水量对采伐强度的响应有所差异。新鲜层和完全分解层枯落物最大持水量随采伐强度增加均呈现出先降低再增加随后又降低的规律,在中度采伐强度下最大持水量达到最大值;而半分解层枯落物最大持水量随采伐强度增加则表现出先增加再降低随后又增加的趋势,在重度采伐时达到最大值。在各采伐强度下(除中度采伐外),枯落物的最大持水量均表现为半分解层>完全分解层>新鲜层,这与曹旭平等^[22]的研究结果相似,说明枯落物对林地的涵养水源作用主要取决于枯落物半分解层和完全分解层的持水性。

枯落物有效拦蓄量反映了枯落物对降水的拦蓄能力^[26]。本研究中不同分解阶段的枯落物有效拦蓄量整体变化规律是半分解层>完全分解层>新鲜层,与杨霞等^[27]研究结果相似,说明实际对降雨的拦蓄中半分解层发挥着重要作用。枯落物新鲜层有效拦蓄量在未采伐样地最大,半分解层有效拦蓄量最高的是重度采伐样地,完全分解层有效拦蓄量最高出现在中度采伐样地。枯落物的有效拦蓄量是由枯落物现存量、最大持水率和自然含水率进行推算而得到,不同采伐强度对于不同分解阶段枯落物的现存量、最大持水率和自然含水率分别产生不同的影响,从而导致不同分解阶段枯落物在不同采伐强度下有效拦蓄量不同。

本研究中,采伐强度对枯落物的持水能力并无显著影响,这可能是由于本研究中所设置的采伐强度梯度较小且采伐强度较小,无法准确描述采伐强度对枯落物的持水性能的影响;而分解阶段对云冷杉针阔混交林枯落物的持水能力影响极显著。通过双因素方差分析发现,不同采伐强度下不同分解阶段的枯落物持水性能的3个指标(最大持水量、最大持水率和有效拦蓄量)均存在极显著差异,说明二者的交互作用可以显著影响枯落物的持水能力。

3.3 枯落物持水过程的拟合

在枯落物持水达到饱和状态前,各个分解阶段枯

落物的持水量和持水率与浸水时间之间均呈现对数函数关系,这与宝虎等^[28]研究结果一致。根据其变化所拟合的函数曲线基本一致,均呈现倒“J”形,即随浸水时间的延长,不同采伐强度下各分解阶段枯落物的持水量和持水率均呈现逐渐增加的趋势,且前4 h增长速度较快。

在枯落物持水达到饱和状态前,不同分解阶段的枯落物吸水速率与浸水时间之间均呈幂函数关系^[27],本研究也得到相同结果,且拟合程度较高,所拟合出的函数曲线均呈现为“L”形。不同采伐强度下,不同分解阶段枯落物吸水速率随浸水时间的增加均呈现出逐渐减小的趋势。在浸水的前4 h内枯落物的吸水速率下降最快,浸水后期,吸水速率的变化趋于平稳,且拟合的函数模型曲线几乎重合。

4 结论

(1)4种采伐强度下样地枯落物总现存量范围为29.04~35.26 t/hm²。

(2)随采伐强度增加,新鲜层和完全分解层枯落物最大持水量和有效拦蓄量均呈现先降低再增加随后又降低的规律,而半分解层枯落物则表现为先增加再降低随后又增加的趋势;新鲜层和完全分解层枯落物最大持水率均呈现先降低再增加的规律,半分解层枯落物则表现为先增加再降低的趋势。

(3)采伐强度对枯落物的持水能力并无显著影响,而分解阶段对其则影响极显著;不同采伐强度下不同分解阶段的枯落物持水性能均存在极显著差异,二者交互作用可显著影响枯落物的持水能力。

(4)枯落物持水达到饱和状态前,不同采伐强度下各分解层枯落物的持水量、持水率与浸泡时间存在对数函数关系,吸水速率与浸泡时间存在幂函数关系。

参考文献:

- [1] Wang C, Zhao C Y, Xu Z L, et al. Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment[J]. Journal of Arid Land, 2013, 5(2): 207-219.
- [2] Walter J, Buchmann C M, Schurr F M. Shifts in plant functional community composition under hydrological stress strongly decelerate litter decomposition[J]. Ecology and Evolution, 2020, 10(12): 5712-5724.
- [3] 管惠文,董希斌,张甜,等.间伐强度对大兴安岭落叶松天然次生林水文性能的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版), 2018, 42(6): 68-76.
- [4] 邹奕巧,孙欧文,刘海英,等.浙江省天台县不同森林类型枯落物及土壤水文特性[J].水土保持通报, 2020, 40(3): 170-174.

- [5] 秦倩倩,王海燕,李翔,等.长白山云冷杉针阔混交林半分解层凋落物生态功能[J].林业科学研究,2019,32(1):147-152.
- [6] Perry C H, Walters B F, Woodall C W, et al. Estimating litter carbon stocks on forest land in the United States[J].Science of the Total Environment,2016,557/558:469-478.
- [7] Palacios P G, McKie B G, Handa I T, et al. The importance of litter traits and decomposers for litter decomposition: A comparison of aquatic and terrestrial ecosystems within and across biomes[J].Functional Ecology,2016,30(5):819-829.
- [8] Gong S H, Xiao Y, Xiao Y, et al. Driving forces and their effects on water conservation services in forest ecosystems in China [J]. Chinese Geographical Science, 2017,27(2):216-228.
- [9] 李明鲁,吴兆飞,邱华,等.采伐对吉林蛟河阔叶红松林生态功能的短期影响[J].北京林业大学学报,2019,41(9):40-49.
- [10] 魏安然,张雨秋,谭凌照,等.抚育采伐对针阔混交林林分结构及物种多样性的影响[J].北京林业大学学报,2019,41(5):148-158.
- [11] 朱喜,何志斌,杜军,等.间伐对祁连山青海云杉人工林土壤水分的影响[J].林业科学研究,2015,28(1):55-60.
- [12] Mahayani N P D, Slik F J W, Savini T, et al. Rapid recovery of phylogenetic diversity, community structure and composition of Bornean tropical forest a decade after logging and post-logging silvicultural interventions [J/OL]. Forest Ecology and Management, 2020,476. DOI:10.1016/j.foreco.2020.118467.
- [13] 赵瑛琳,郭亚芬,崔晓阳.东北林区红松土壤及针叶中钙、镁、硫质量分数[J].东北林业大学学报,2015,43(4):57-61.
- [14] 杨丽,张秋良.大兴安岭兴安落叶松林下植被多样性及土壤养分季节分布特征[J].水土保持学报,2015,29(6):124-130.
- [15] 夏祥友.森林经营对东北林区主要森林类型蓄水保土功能的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2016.
- [16] 秦倩倩,王海燕,李翔,等.东北天然针阔混交林凋落物磷素空间异质性及其影响因素[J].生态学报,2019,39(12):4519-4529.
- [17] 刘一霖,温娅檬,李巧玉,等.川西高山峡谷区 6 种森林枯落物的持水与失水特性[J].水土保持学报,2019,33(5):151-156,162.
- [18] 孟庆权,葛露露,杨馨邈,等.滨海沙地不同人工林凋落物现存量及其持水特性[J].水土保持学报,2019,33(3):146-152.
- [19] 敖特根其木格,秦富仓,周佳宁,等.内蒙古自治区多伦县不同林地枯落物持水性能研究[J].水土保持通报,2017,37(4):114-118.
- [20] Papa S, Cembrola E, Pellegrino A, et al. Microbial enzyme activities, fungal biomass and quality of the litter and upper soil layer in a beech forest of south Italy[J].European Journal of Soil Science,2014,65(2):274-285.
- [21] 李翔,王海燕,秦倩倩,等.采伐对天然云冷杉针阔混交林半分解层凋落物现存量、含水率及林分郁闭度空间异质性的影响[J].林业科学研究,2018,31(6):114-120.
- [22] 曹旭平,于世川,张文辉,等.间伐对黄龙山辽东栎林下枯落物持水性的影响[J].水土保持通报,2016,36(6):247-251,257.
- [23] 王梓璇,周梅,赵鹏武,等.不同火烧木管理方式火烧迹地林下物种多样性及地上生物量研究:以寒温带兴安落叶松林为例[J].林业资源管理,2018(4):28-33.
- [24] 白英辰,朱江,程小琴,等.密度调控对华北落叶松人工林枯落物水文特征的影响[J].水土保持学报,2016,30(6):128-133.
- [25] 贾秀红,毕俊亮,周志翔,等.鄂中低丘区主要纯林凋落物持水与土壤贮水能力研究[J].华中农业大学学报,2013,32(3):39-44.
- [26] 杨家慧,谭伟,卯光宪,等.黔中不同龄组柳杉人工林枯落物水源涵养能力综合评价[J].水土保持学报,2020,34(2):296-301,308.
- [27] 杨霞,陈丽华,康影丽,等.辽东低山区 5 种典型水源涵养林枯落物持水特性[J].生态学杂志,2019,38(9):2662-2670.
- [28] 宝虎,赵鹏武,周梅,等.大兴安岭南段典型天然林枯枝落叶层及土壤层持水特性研究[J].干旱区资源与环境,2020,34(2):175-181.