

甘南白龙江上游高山林线过渡区地被物及土壤水文特性

杨永红^{1,2}, 王飞^{1,2}, 曹秀文^{1,2}, 刘锦乾^{1,2}, 王若鉴^{1,2}, 李社勤³, 徐德才³, 王双燕³

(1. 甘肃省白龙江林业管理局 林业科学研究所, 兰州 730070;

2. 甘肃白龙江森林生态系统国家定位观测研究站, 甘肃 舟曲 746300; 3. 舟曲林业局沙滩林场, 甘肃 舟曲 746300)

摘要:以甘南白龙江上游高山林线区域为研究对象,采用样方调查和室内试验分析的方法,研究了高山林线区域地被物和土壤的持水特性,结果表明:(1)白龙江上游高山林线不同区域地被物总蓄积量在 37.33~127.28 t/hm²,林线上最小,林线下最大,林线区域和林线下相差不大;地被物不同成分中枯落物分解层的蓄积量最大,占总蓄积量的一半以上;林线下地被物的最大持水量和最大持水率最大,林线上地被物的最大持水量和最大持水率最小。(2)土壤容重随着土层深度变化而增加,林线上土壤容重的变化最大,在 0—10 cm 土壤容重最小为 0.56 g/cm³,在 20—40 cm 土壤容重最大为 1.12 g/cm³,非毛管孔隙度的变化与土壤容重的变化相反,随着土层的增加非毛管孔隙度减小,林线下表层土壤非毛管孔隙度最大为 8.07%,林线上表层土壤非毛管孔隙度为 6.27%。(3)林线 0—10 cm 的初渗率最大,平均入渗率也最大,林线上的初渗率最小,土壤初渗率、稳渗率、平均渗透率随着土层深度的变化基本一致,土壤持水率与时间进行回归拟合,二者存在着幂函数关系,符合关系式 $Y=at^b$ 。

关键词:高山林线; 地被物; 土壤; 持水特性

中图分类号:S714

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)02-0145-06

Surface Cover and Soil Hydrological Characteristics of Alpine Timberline Ecotone in the Upper Reaches of Bailongjiang River

YANG Yonghong^{1,2}, WANG Fei^{1,2}, CAO Xiuwen^{1,2}, LIU Jinqian^{1,2},

WANG Ruojian^{1,2}, LI Sheqin³, XU Decai³, WANG Shuangyan³

(1. Institute of Forestry Science, Bailongjiang Forestry Management Bureau of Gansu Province,

Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Bailongjiang National Forest Ecosystem Research Station, Zhouqu,

Gansu 746300, China; 3. Beach Forest Farm of Zhouqu County Forestry Bureau, Zhouqu, Gansu 746300, China)

Abstract: The surface cover and soil hydrological characteristics of alpine timberline ecotone in the upper reaches of Bailongjiang River were studied with the survey of community plots and laboratory analysis methods in the report. The result showed that: (1) the total volume of surface cover varied from 37.33 t/hm² to 127.28 t/hm² in the different areas in the upper reaches of Bailongjiang River, it reached the minimum above the timberline, it reached the maximum under the timberline; the timberline area was no different from the below timberline; the volume of the litter decomposition layer in the surface cover was the largest, it accounted for more than half of total volume; the maximum water holding capacity and specific retention of the surface cover under the timberline were the maximal, instead, they reached the minimum above the timberline; (2) soil bulk density increased significantly with the depth of the soil layer; the change of soil bulk density above the timberline was the maximal; the soil bulk density in 0—10 cm soil layer was 0.56 g/cm³, which reached the minimum, and it was 1.12 g/cm³ in 20—40 cm of soil layer, which reached the maximal; however, the change of non-capillary porosity appeared the diametric trend, non-capillary porosity decreased significantly with the depth of the soil layer; non-capillary porosity of surface soil under the timberline was 8.07%, which reached the maximal; and it was 6.27% above the timberline, which reached the minimum;

收稿日期: 2017-05-18

修回日期: 2017-06-08

资助项目: 甘肃省林业科技项目(2015kj048, 2015kj051, 2016kj058, 2016kj062, 2016kj063)

第一作者: 杨永红(1968—), 男, 甘肃陇南人, 本科, 高级工程师, 主要从事林业土壤研究。E-mail: 173763825@qq.com

通信作者: 曹秀文(1964—), 男, 甘肃民乐人, 本科, 正高级工程师, 主要从事林业生态研究。E-mail: 1336190642@qq.com

(3) initial infiltration rate and average infiltration rate were all the largest in 0—10 cm soil layer in the timberline, it reached the minimum above the timberline; the change of initial infiltration rate, final infiltration rate and average infiltration rate were all basically consistent with the changes of the soil layer depths. The result showed that the relation between the specific retention of the surface cover and the immersing time followed the power function. It was expressed as the equation: $Y=at^k$.

Keywords: alpine timberline; the surface cover; soil; hydrological characteristics

高山林线是指从山地郁闭森林到树种线之间的整个过渡带^[1],是高山植被的分界线和生长型发生急剧变化的地段,是划分高山区景观类型的一条重要生态界限^[2],指示着森林分布的极限环境,是全球气候变化的敏感指示体^[3],由于极端的环境条件,林线生物类群均处于相对复杂的临界状态,是典型的生态系统脆弱区^[4],目前,高山林线是全球研究的热点对象之一。其中地被物和土壤是植被生态系统的重要结构^[5],地被物既能有效拦截降雨、防止土壤溅蚀,又对拦蓄地表径流、减少土壤水分蒸发、增加土壤水分入渗发挥着重要作用^[6-7],土壤层起到森林涵养水源和保持水土的作用^[8]。国内学者对林线做了众多研究,邓坤枚等^[9]认为林线岳桦的生长与土壤养分有关,Miao 等^[10]分析了林线土壤的温度和水分对岳桦的影响,周晓峰等^[11]研究了林线、气候与土壤的变化关系,这些研究阐述了林线土壤与气候、植被之间的关系,但是对林线地被物和土壤层持水特征研究较少,因此对高山林线过渡区域植被水源涵养功能研究具有的重要意义。

由于近年来对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,使小生境更加脆弱^[12],白龙江上游高山林线自然环境脆弱而敏感,对甘南高山生态系统的植被和水源涵养起着重要作用。文中选取白龙江上游高山林线过渡区域,分析该区域地被物和土壤水源涵养功能,为该地区生态脆

弱带的水源涵养和水土保持提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区设在白龙江上游舟曲县和迭部县的高山林线区域,该地区位于甘肃南部,地处青藏高原、黄土高原、秦巴山地和四川盆地的交汇区,地理位置特殊,自然环境独特,森林资源丰富。但长期以来的森工生产,使天然林资源遭到严重破坏,采伐迹地造林不及时或不成功后自然演替形成大面积灌丛群落或裸露。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^[13]。

1.2 研究方法

2016 年 9 月,在白龙江上游选择具有代表性的高山林线地带设置 20 m×20 m 的 3 种样方(表 1),第一种是以林线为中心设置的样方为林线样方,在林线样方以上区域的样方为林线上样方,在林线样方以下区域的样方为林线下样方,设置 3 个重复,总计设置 9 个样方,利用每木检尺法^[14]调查林下植被,计算地被物和土壤持水特征。

表 1 样地基本情况

位置名称	坡度/(°)	坡向	坡位	海拔/m	主要树种组成
林线上	28	阳坡	中	3590	杜鹃、唐古特瑞香、花楸、高山柳、金露梅、黄芦木等
林线	27	阳坡	中	3551	杜鹃、冷杉、高山桦、花楸、高山柳、黄芦木等
林线下	29	阳坡	中	3510	冷杉、杜鹃、花楸、忍冬、冰川茶藨子等

1.2.1 地被物的采集和持水能力的测定 在样方中随机布设 5 个 50 cm×50 cm 的小样方,分别收集小样方中的木残体、苔藓和枯落物,并记录苔藓和枯落物的厚度,将收集的地被物带回实验室称重,然后放入 80℃^[15]的烘干箱至恒重,计算地被物储量和自然含水量。将烘干的部分地被物装入尼龙网袋称重,然后浸泡到水中,测其 0.5,1,1.5,2,4,8,12,16,20,24 h 的重量,由此计算在不同浸泡时间段内枯落物层的

持水量,一般认为地被物浸水 24 h 时持水量为最大持水量^[16],主要计算公式如下^[17-18]:

$$W_o=M_o-M_d \tag{1}$$

$$R_o=(M_o-M_d)/M_d\times 100\% \tag{2}$$

$$W_{hmax}=M_{24}-M_d \tag{3}$$

$$R_{hmax}=(M_{24}-M_d)/M_d\times 100\% \tag{4}$$

$$R_{smax}=R_{hmax}-R_o \tag{5}$$

$$W_{sv}=(0.85R_{hmax}-R_o)M_d \tag{6}$$

式中: W_0 为地被物自然含水量; M_d 为地被物单位面积储量(干储量); M_0 为地被物自然状态下的储量(鲜储量); W_{\max} 为地被物最大持水量; W_{sv} 为地被物有效拦蓄量(t/hm^2); M_{24} 为地被物吸水饱和单位质量(t/hm^2); R_0, R_{\max}, 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^[19]。

1.2.2 土壤样品采集和水文特性的测定 各样方中随机布设 3 个点挖掘土壤剖面,用环刀分别取 0—10, 10—20,20—40 cm 原状土壤带回实验室,每层分别取 6 个,测定土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、土壤持水量、初渗率、稳渗率等,各指标处理方法为^[20]:

$$W_t=10000P_th \tag{7}$$

$$W_c=10000P_ch \tag{8}$$

$$W_a=10000P_oh \tag{9}$$

式中: W_t 为土壤最大持水量; P_t 为土壤总孔隙度; h 为土层厚度; W_c 为土壤毛管持水量; P_c 为土壤毛管孔隙度; W_0 为土壤有效持水量; P_0 为土壤非毛管孔隙度。初渗率=最初入渗时段渗透量/入渗时间;平均渗透速率=达稳渗时的渗透总量/达稳渗时的时间;稳渗率为单位时间内的渗透量趋于稳定时的渗透速率。数据利用 Excel 和 SPSS 18.0 软件分析处理。

2 结果与分析

2.1 地被物蓄积量

地被物是森林地表层持水的载体,其蓄积量的大小

和性质将直接影响地被物层持水能力的高低,蓄积量大、水分吸附能力越好,则持水量也会越大^[21]。因此,在评价森林生态水文功能的时候,蓄积量是根本因素之一。不同森林类型,地被物的成分组成、树种类型、堆积方式、环境条件、林下微生物活动等不同,造成地表层水、热、气等的差异,从而影响地被物的分解速率,而影响地被物的储量。

根据表 2 可知,林线上、林线下与林线的总蓄积量差别较大,总蓄积量在 37.33~127.28 t/hm^2 ,林线上最小,林线下最大,林线下是林线上的 3.41 倍,林线总蓄积量是 109.31 t/hm^2 ,与林线下的总蓄积量相差不大,是林线上总蓄积量的 2.93 倍。在同一位置处,枯落物分解层的蓄积量最大,占到总蓄积量的一半以上,木残体的蓄积量与枯落物未分解层的蓄积量相差不大,苔藓的蓄积量最小。林线下 4 种地被物的蓄积量最大,林线 4 种地被物蓄积量次之,林线上 4 种地被物蓄积量最小。总干重和蓄积量的变化一致,在同一位置处枯落物分解层总干重最大,依次是木残体、枯落物未分解层,苔藓最小;在不同位置处林线下的 4 种地被物总干重也最大,林线次之,林线上最小。自然含水率指在自然条件下地被物储水的多少,自然含水率与总干重变化基本相似,苔藓的含水率略大于木残体和枯落物未分解的含水率。白龙江高山林线区域地被物主要以枯落物分解层为主,林线下蓄积量最多,经分析是因为微生物活动频繁,加速了地被物的分解。

表 2 不同地理位置地被物蓄积量

位置 名称	地被物 类别	厚度/ cm	蓄积量/ ($t \cdot hm^{-2}$)	总干重/ ($t \cdot hm^{-2}$)	自然 含水率/%
林线上	T	2.33±1.08	1.72±0.24	0.49±0.08	19.36±2.46
	K ₁	2.17±0.30	3.94±0.78	3.29±0.67	16.77±1.87
	K ₂	4.17±0.76	26.49±18.17	20.40±13.62	20.04±3.19
	M	—	5.18±2.05	4.31±1.62	15.19±2.06
林线	T	3.68±1.27	3.18±0.86	2.52±0.70	20.07±0.96
	K ₁	2.33±0.15	5.46±0.81	4.41±0.61	18.78±2.08
	K ₂	4.13±0.41	95.48±10.85	57.58±3.00	37.68±7.82
	M	—	5.19±1.84	4.41±1.55	14.89±0.78
林线下	T	5.60±0.79	7.70±0.77	5.89±0.56	22.88±1.50
	K ₁	2.63±0.28	5.40±0.12	4.42±0.16	18.25±0.15
	K ₂	7.30±0.79	108.31±9.54	63.34±4.01	41.14±2.32
	M	—	5.87±1.27	4.63±0.94	19.97±3.48

注:T 为苔藓;K₁ 为枯落物未分解层;K₂ 为枯落物分解层;M 为木残体,下表同。

2.2 地被物的水文特性

森林地被物可以增加林地土壤储水,使有限的降水资源能更大程度地被林木吸收利用^[15]。地被物的持水能力多用最大持水量和最大持水率表示,由表 3 可知,林线下地被物的最大持水量和最大持水率最大,林线上最小,持水量与地被物的蓄积量、结构状

态、分解程度等有关,林线下地被物的蓄积量也最大,则枯落物的最大持水量和最大持水率呈正比关系;有效拦蓄量、最大拦蓄量和最大拦蓄率都是林线下最大,林线上最小,说明林线下地被物的持水能力最大,林线上地被物的持水能力最小。

地被物的类型不同持水能力也不同。地被物不

同成分中都表现出木残体的最大持水量最小,枯落物分解层的最大持水量均最大,苔藓的最大持水率最大,和枯落物分解层的最大持水率相差不大,木残体的最大持水率均最小,最大拦蓄量和最大持水量变化一致,都是分解层枯落物最大,苔藓的最大拦蓄率最大。

表 3 地被物拦蓄能力

不同位置	地被物	最大持水量/ (t·hm ⁻²)	最大 持水率/%	有效拦蓄量/ (t·hm ⁻²)	最大 拦蓄率/%	最大拦蓄量/ (t·hm ⁻²)
林线上	M	5.18±1.54	129.93±10.13	3.69±0.98	113.75±11.95	5.32±1.54
	K ₁	10.69±1.05	342.99±37.65	8.55±0.79	362.22±36.68	12.19±1.07
	K ₂	64.15±42.20	350.70±25.83	49.86±32.32	330.66±26.14	77.06±51.74
	T	63.87±46.41	394.68±43.57	54.21±39.40	387.31±46.95	76.16±55.25
林线	M	5.95±1.59	145.68±14.37	4.40±1.11	130.79±14.01	6.22±3.52
	K ₁	10.53±1.68	238.85±19.81	8.12±1.36	220.07±21.77	11.91±1.88
	K ₂	197.91±5.89	346.80±26.33	146.59±8.99	309.12±28.20	289.86±24.33
	T	57.28±44.21	350.47±19.95	48.16±37.60	353.13±201.20	70.46±11.22
林线下	M	8.01±1.29	178.71±12.25	5.85±0.89	158.75±0.14	8.88±1.44
	K ₁	13.46±0.80	305.12±19.77	10.64±0.72	286.88±0.20	15.46±0.87
	K ₂	233.87±21.85	368.75±19.99	172.64±15.88	327.61±17.71	357.08±302.82
	T	126.47±19.09	393.28±119.07	106.16±16.26	356.39±27.63	162.30±20.73

2.3 土壤的持水能力

土壤的持水能力与本身的结构、分解状况及储量有关,是反映森林水文特性的重要指标,直接影响森林土壤的水源涵养作用,土壤蓄水能力是评价水源涵养、调节水循环的主要指标之一^[22]。

土壤容重和孔隙度是反映土壤物理性质的重要参数,两者直接影响着土壤持水和通气性能。不同林分下地被物的组成都会引起土壤物理性质的差异,造成土壤持水能力的不同^[23],由表 4 可知同一林线位置的土壤容重随着土层深度变化土壤容重也随着变化,林线上土壤容重变化最大,在 0—10 cm 时最小为 0.56 g/cm³,在 20—40 cm 时最大为 1.12 g/cm³,林线与林线下随着土层深度的增加,土壤容重也增加,但是变化较小。非毛管孔隙度在土层 0—10 cm 时最大,随着土层深度的增加非毛管孔隙度有减小的趋

势,但是在林线下随着土层深度的增加非毛管孔隙度逐渐减小;毛管孔隙度随着土层厚度的增大变化不大,总体林线上的毛管孔隙度大于林线和林线下土壤的毛管孔隙度,表层土壤非毛管孔隙度最大。表层土壤疏松,通气性最好,微生物活动频繁,有机质含量高,容重最小,随着土层厚度的增加土壤越紧实,通气性变差,微生物活动较小,土壤容重越大。

土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水量随土层深度的改变也相应呈现出一定变化,随着土层深度的增加土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水量减小,0—10 cm 土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水量最大,10—20 cm 与 20—40 cm 变化不大。不同林线位置同一土层深度土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水量林线下较大,但是相差不明显。可见研究区的表层土壤持水能力强于深层次土壤。

表 4 土壤持水能力

位置 名称	土层/ cm	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	土壤质量含水量/ (g·kg ⁻¹)	土壤 贮水量/mm	最大 持水量/mm	毛管 持水量/mm	最小 持水量/mm	非毛管 孔隙度/%	毛管 孔隙度/%	总孔 隙度/%
林线上	0—10	0.56±0.10	630.97±109.64	50.63±12.07	108.45±2.07	98.18±2.15	92.17±2.72	6.27±1.57	60.18±2.15	66.45±2.07
	10—20	0.63±0.07	688.94±177.46	38.50±6.19	66.38±2.34	62.38±3.26	56.03±3.24	4.00±1.29	62.38±3.26	66.38±2.34
	20—40	1.12±0.20	294.37±15.27	46.83±4.32	64.67±5.34	60.73±6.42	51.80±6.90	4.97±0.44	49.37±3.10	54.33±2.67
林线	0—10	0.73±0.07	522.48±65.39	67.33±2.92	123.63±0.51	110.87±1.60	92.77±1.68	7.77±1.32	57.87±1.60	65.63±0.51
	10—20	0.89±0.06	507.13±54.67	43.28±1.95	63.10±2.18	58.35±1.67	52.03±1.91	4.75±0.99	58.35±1.67	63.10±2.18
	20—40	0.87±0.05	389.30±19.93	36.33±3.99	60.63±3.56	50.73±6.17	50.00±6.22	6.45±1.95	55.37±3.08	61.82±1.78
林线下	0—10	0.68±0.06	441.85±69.09	60.10±3.01	121.73±2.38	98.67±2.08	98.42±3.92	8.07±2.11	58.67±2.08	66.73±2.38
	10—20	0.88±0.08	404.18±82.82	32.82±5.70	63.33±3.42	57.52±5.80	51.47±6.83	5.82±2.80	57.52±5.80	63.33±3.42
	20—40	0.96±0.16	353.59±54.70	28.30±6.95	58.17±7.76	50.87±9.45	50.63±10.24	5.15±1.41	55.43±4.73	60.58±3.88

2.4 土壤渗透性

入渗是降水、土壤水和地下水相互转化的重要环节,较强的土壤渗透性可以直接减少地表径流,并大幅度减少水土流失,也是森林土壤水源涵养能力的重要指标之一。不同林线位置土壤初渗率、稳渗率、平均渗透率随着土层深度的变化并非一致(表 5),林线上 10—20 cm 的稳渗率小于 20—40 cm,林线 10—20 cm 的初渗率小于 20—40 cm。林线 0—10 cm 的初渗率最大为 23.17 ml/min,林线下 0—10 cm 的初渗率最小为 12.18 ml/min,林线不同土壤层初渗率、稳渗率、平均渗透率大于林线上和林线下。

随着时间的增加土壤渗透率趋于稳定,不同土层土壤趋于稳定的时间不同,对不同土层土壤持水率和时间的关系进行回归分析,二者之间存在着幂函数关系,即符合以下公式:

$$Y=at^k \tag{10}$$

表 6 渗透速率与时间的关系

位置	土层					
	0—10 cm		10—20 cm		20—40 cm	
	关系式	R ²	关系式	R ²	关系式	R ²
林线上	$Y=22.61t^{-0.36}$	0.974	$Y=18.05t^{-0.60}$	0.829	$Y=7.868t^{-0.35}$	0.972
林线	$Y=26.08t^{-0.55}$	0.957	$Y=13.88t^{-0.44}$	0.976	$Y=13.2t^{-0.49}$	0.968
林线下	$Y=14.59t^{-0.41}$	0.932	$Y=15.64t^{-0.43}$	0.953	$Y=9.997t^{-0.46}$	0.969

3 讨论

高山林线区域林分类型不同,其水源涵养、固土保水能力也存在着差异。白龙江上游高山林线上主要以灌丛为主,灌丛植株矮小、稀疏,地表裸露较多,地被物蓄积量较少;林线区域主要以灌丛和乔木树种混合而成,树木相对高大,枝叶较茂盛,地表湿润,苔藓含量较多;林线下主要以高大的乔木为主,伴生部分灌木,其枝叶茂盛,苔藓含量较多,地被物蓄积量大,在水源涵养,固土保肥方面林线下较强,即地被物的蓄积量与立地条件和林分类型有关,这与张远东等^[24]研究一致。林线下地被物蓄积量最大,且主要以枯落物分解层蓄积量为主则林线下地被物的最大持水量、最大持水率、最小持水量最大,林线上地被物蓄积量最少,相应地被物的最大持水量、最大持水率、最小持水量最小,即地被物最大相应的持水量也最大,这与宫渊波等^[25]研究结果基本一致。

从不同深度土壤性状来看,0—10 cm 土壤容重最小,土壤非毛管孔隙度最大,土壤最大持水量、毛管持水量和土壤最小持水量均大于其他土层,这与刘洋^[26]等研究结果基本一致。随着土层深度的变化土壤容重增加,土壤非毛管孔隙度、土壤最大持水量、土

式中:Y 为渗透速率;a 为系数;t 为渗透时间;k 为指数,不同土层土壤渗透速率与时间的回归方程和 R²见表 6。

表 5 不同土层渗透率性质

位置 名称	土层/ cm	初渗率/ (ml·min ⁻¹)	稳渗率/ (ml·min ⁻¹)	渗透 总量/ml	平均渗透率/ (ml·min ⁻¹)
林线上	0—10	22.30	6.98	682.15	10.74
	10—20	14.65	1.06	479.15	6.97
	10—40	8.85	2.27	327.25	5.91
林线	0—10	23.17	3.29	636.75	11.23
	10—20	13.80	2.68	450.32	7.01
	10—40	15.28	2.20	377.20	6.57
林线下	0—10	12.38	3.05	517.57	9.25
	10—20	16.18	3.16	520.83	10.36
	10—40	9.18	1.73	310.55	5.35

壤最小持水量、毛管持水量等都变小,这与王谦等^[8]研究基本一致。

4 结论

白龙江上游高山林线不同区域地被物总蓄积量相差较大,林线上最小为 37.33 t/hm²,林线下最大为 127.28 t/hm²,林线地被物总蓄积量与林线下相差不大,为 109.33 t/hm²,地被物不同成分中枯落物分解层的蓄积量最大,占总蓄积量的一半以上,苔藓蓄积量最小,林线下地被物不同成分的蓄积量均大于林线和林线上,且枯落物分解层最大,苔藓最小,说明白龙江高山林线区域地被物主要以枯落物分解层为主,林线下地被物蓄积量最大。

林线下地被物的最大持水量和最大持水率最大,林线上地被物的最大持水量和最大持水率最小,林线下地被物的蓄积量也最大,林线上地被物蓄积量最小,说明地被物的最大持水量和最大持水率与蓄积量呈正比关系,地被物不同成分中木残体的最大持水率最小,苔藓的最大持水率和最大拦蓄率最大。

土壤容重随着土层深度变化而增加,林线上土壤容重的变化最大,在 0—10 cm 土壤容重最小为 0.56 g/cm³,在 20—40 cm 土壤容重最大为 1.12 g/cm³,林线

与林线下各土层土壤容重在 $0.69 \sim 0.96 \text{ g/cm}^3$, 变化较小; 非毛管孔隙度的变化与土壤容重的变化相反, 随着土层的增加非毛管孔隙度减小, 林线下表层土壤非毛管孔隙度最大为 8.07% , 林线上表层土壤非毛管孔隙度为 6.27% , 表层土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水量最大, 表层土壤疏松, 通气性好, 故表层土壤容重最小且土壤非毛管孔隙度最大。

林线 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 的初渗率最大, 平均入渗率也最大, 林线上的初渗率最小, 土壤初渗率、稳渗率、平均渗透率随着土层深度的变化基本一致, 除了林线下 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 的初渗率大于表层土壤, 稳渗率和平均渗透率与初渗率变化一致, 林线土壤渗透性能最好, 土壤持水率与时间进行回归拟合, 二者存在着幂函数关系, 符合关系式 $Y = at^k$ 。

群落水源涵养能力取决于冠层截留量、地被物截留量、土壤储水量及渗透能力^[26], 本研究只对高山林线区域地被物及土壤持水能力和土壤渗透性能进行了研究, 还需要进一步探讨林冠层的截留能力。综合来看, 白龙江上游高山林线区域林线下地被物持水性能较强, 林线土壤持水性能强于林线上和林线, 林线群落交错区域的水源涵养功能维持着甘南高山生态系统的稳定。

参考文献:

- [1] Körner C, Paulsen J. A world-wide study of high altitude treeline temperatures[J]. *Journal of Biogeography*, 2004, 31(5): 713-732.
- [2] Szeicz J M, Macdonald G M. Recent white spruce dynamics at the subarctic alpine treeline of north-western Canada[J]. *Journal of Ecology*, 1995, 83(5): 873-885.
- [3] 任青山, 杨小林, 崔国发, 等. 西藏色季拉山林线冷杉种群结构与动态[J]. *生态学报*, 2007, 27(7): 2669-2678.
- [4] Körner C. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation[J]. *Oecologia*, 1998, 115(4): 445-459.
- [5] 李倩茹, 许中旗, 许晴, 等. 燕山西部山地灌木群落凋落物积累量及其持水性能研究[J]. *水土保持学报*, 2009(2): 75-78.
- [6] 梁文俊, 丁国栋, 周美思, 等. 冀北山地油松和落叶松林下枯落物的水文效应[J]. *水土保持通报*, 2012, 32(4): 71-74.
- [7] 贺宇, 丁国栋, 梁文俊, 等. 林分密度对枯落物层持水特性的影响[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2012, 40(4): 68-72.
- [8] 王谦, 孙保平, 丁国栋, 等. 陕西榆林樟子松人工林土壤及枯落物水文效应[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科*

- 学版, 2015, 43(8): 123-132.
- [9] 邓坤枚, 石培礼, 杨振林. 长白山树线交错带的生物量分配和净生产力[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(6): 942-948.
- [10] Miao W, Li Q, Xiao D, et al. Effects of soil temperature and soil water content on soil respiration in three forest types in Changbai Mountain[J]. *Journal of Forestry Research*, 2004, 15(2): 113-118.
- [11] 周晓峰, 王晓春, 韩士杰, 等. 长白山岳桦苔原过渡带动态与气候变化[J]. *地学前缘*, 2002, 9(1): 227-231.
- [12] 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.
- [13] 王阳临. 白龙江林区垂直带划分[C]//尹祚栋, 赫卓峰. 白龙江洮河林区综合考察论文集. 上海: 上海科学技术出版社, 1991.
- [14] 沈志强, 卢杰, 华敏, 等. 西藏色季拉山高山松种群点格局分析[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2016, 44(5): 73-81.
- [15] 张东, 邵社刚, 赵辉. 晋西黄土丘陵沟壑区主要人工林枯落物水文特性研究[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2014(5): 97-101.
- [16] 程金花, 张洪江, 余新晓, 等. 贡嘎山冷杉纯林地地被物及土壤持水特性[J]. *北京林业大学学报*, 2002, 24(3): 45-49.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 胡海波, 张金池. 平原粉沙淤泥质海岸防护林土壤渗透特性的研究[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(1): 39-42.
- [21] 赵陟峰, 郭建斌, 赵廷宁, 等. 土桥沟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.
- [22] 赵世伟, 周印东, 吴金水. 子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(4): 119-122.
- [23] 赵丽, 王建国, 车明中, 等. 内蒙古扎兰屯市典型森林枯落物土壤水源涵养功能研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2014(5): 91-96.
- [24] 张远东, 刘世荣, 马姜明. 川西高山和亚高山灌丛的地被物及土壤持水性能[J]. *生态学报*, 2006, 26(9): 2775-2782.
- [25] 宫渊波, 陈林武, 罗承德, 等. 嘉陵江上游严重退化地 5 种森林植被类型枯落物的持水功能比较[J]. *林业科学*, 2007, 43(S1): 12-16.
- [26] 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.