

冀北山地5个海拔梯度油松林枯落物与 土壤水源涵养功能研究

张引¹, 黄永梅², 周长亮², 梁文俊³

(1. 山西林业职业技术学院, 太原 030009; 2. 河北木兰围场国有林场管理局,
河北 围场 068450; 3. 山西农业大学, 山西 太谷 030800)

摘要: 为了研究冀北山地5个海拔梯度(910, 1 050, 1 160, 1 320, 1 450 m)油松(*Pinus tabulaeformis*)纯林水源涵养功能, 利用浸泡法对林分的枯落物层的持水量与拦蓄能力进行了研究, 利用环刀法和双环法对土壤层蓄水能力进行了研究, 结果表明: 枯落物总蓄积量、最大持水量、有效拦蓄能力变化规律一样, 均随海拔升高先减小后增大, 最大持水率随着海拔的升高呈现增大的趋势, 总蓄积量变动范围为32.14~41.97 t/hm², 最大持水量为67.31~103.95 t/hm², 有效拦蓄能力为48.16~84.69 t/hm², 最大持水率范围为196.85%~253.34%, 枯落物持水量、吸水速率与浸泡时间有较好的拟合关系, $R>0.96$ 。土壤容重随海拔升高先增大后减小, 变化范围为0.96~1.20 g/cm³, 总孔隙度随海拔升高先减小后增大, 土壤层有效持水量随海拔升高而减小, 土壤入渗速率与入渗时间呈明显幂函数关系, $R>0.92$ 。

关键词: 海拔; 枯落物; 土壤; 水源涵养

中图分类号: S714.7; S715

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)02-0126-06

Study on Litter and Soil Water Conservation Function of *Pinus tabulaeformis* Forests at 5 Altitudinal Gradients in Mountains of Northern Hebei

ZHANG Yin¹, HUANG Yongmei², ZHOU Changliang², LIANG Wenjun³

(1. Shanxi Forestry Vocational and Technical College, Taiyuan 030009, China; 2. Mulan-Weichang Forestry Administration of Hebei Province, Weichang, Hebei 068450, China; 3. Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030800, China)

Abstract: In order to study the water conservation function of *Pinus tabulaeformis* in five elevation gradients (910 m, 1 050 m, 1 160 m, 1 320 m, 1 450 m) in the northern Hebei, the immersion method was used to control the litter layer of the stand. The water volume and capacity of the storage of litter were studied, and the water storage capacity of the soil layer was studied by the ring method and the double ring method. The results showed that the total accumulation of litter, the maximum water holding capacity and the change of the effective retention capacity were the same as the elevation the increases, and the maximum water holding rate increased with the increase of elevation, and the total volume change ranged from 32.14 t/hm² to 41.97 t/hm², the maximum water holding capacity ranged from 67.31 t/hm² to 103.95 t/hm², and the maximum water holding capacity was effectively blocked. The maximum available water holding ranged from 48.16 t/hm² to 84.69 t/hm², the maximum water holding rate ranged from 196.85% to 253.34%, the water holding capacity of litter, water absorption rate and soaking time had the better fitting relationship ($R>0.96$). The soil bulk density increased first and then decreased with the increase of elevation, and the range of change was 0.96~1.20 g/cm³. The total porosity decreased first and then increased with the increase of elevation. The effective water holding capacity of soil layer decreased with the increase of elevation, and relationship between the soil infiltration rate and infiltration time could be described by the power function ($R>0.92$).

Keywords: altitudes; litters; soil; water conservation

收稿日期: 2018-05-04

修回日期: 2018-05-21

资助项目: 国家自然科学基金“基于森林空间结构的华北落叶松人工林种子萌发及幼苗成活机制研究”(31500523); 河北省林业厅科学技术研究计划(1705488)

第一作者: 张引(1965—), 男, 山西长子人, 讲师, 主要从事林业调查与水土保持研究。E-mail: 2793473845@qq.com

通信作者: 黄永梅(1971—), 女, 河北围场人, 高级统计师, 主要从事森林资源经营管理与荒漠化防治工作。E-mail: 411944373@qq.com

森林枯落物层对截持降水、防止土壤溅蚀、阻延地表径流、抑制土壤水分蒸发、增强土壤抗冲性等方面具有一定的作用,而且作为森林水源涵养的第二活动层,对森林涵养功能的调控具有重要意义^[1-3]。土壤层作为森林水源涵养的第三活动层,利用孔隙的贮藏功能将水分进行储存起来,起到保持水土和涵养水源的功能^[4-6]。河北木兰围场国有林场管理局作为研究地,在林分的水源涵养研究主要集中在不同林分类型的差异性方面,而针对不同海拔的林分水源涵养功能研究较少。本文对该地区不同海拔梯度油松纯林枯落物层与土壤层的水源涵养功能进行详细研究,旨在为油松纯林健康生长的海拔提供一定的理论依据^[7-8]。

1 研究区概况

研究区位于冀北山地的木兰围场国有林场管理局(41°35′—42°37′N,116°48′—118°20′E),该地区山峦起伏、沟壑纵横,海拔高度约为 750~1 829 m,年平均温度较低,为-1.5~4.8℃,降雨量为 380~560 mm,属于寒温带向中温带过渡、半干旱向半湿润过渡、大陆性季风型山地气候。具有水热同季、冬长夏短、春季偏旱、四季分明、昼夜温差大的特征。研究区内土壤类型主要有:黄棕壤、黑棕壤等。研究区内主要乔木树种有华北落叶松、油松(*Pinus tabulaeformis*)、云杉(*Picea asperata*)、黑桦(*Betula dahurica*)、山杨(*Populus davidiana*)、蒙古栎(*Quercus Mongolica*)、白桦(*Betula platyphylla*)等。

2 研究方法

2.1 枯落物层数据测定

2.1.1 枯落物蓄积量 2016 年 9 月在北沟林场的北沟作业区,选择了 5 个海拔梯度的油松纯林设置了标准的样地,样地的大小为 30 m×30 m,并对标准地的基本情况进行了调查(表 1),其中郁闭度的测定是通过在样地内机械地设置 100 个样点,在各样点位置上进行抬头垂直仰视,判断该样点是否被树冠覆盖,统计被覆盖的样点数,该点数与样点数的比值则是林分的郁闭度。枯落物的样地选择在林分中随机选择 5 块样地,大小为 0.5 m×0.5 m。

表 1 标准地概况

林分类型	海拔/m	坡向	坡度/(°)	郁闭度	平均胸径/cm	平均树高/m	土壤类型
I	910	半阴	21	0.5	8.5	6.5	棕壤
II	1050	阳坡	25	0.6	8.0	6.2	棕壤
III	1160	半阴	23	0.6	7.8	6.2	棕壤
IV	1320	阳坡	25	0.7	8.2	6.8	棕壤
V	1450	阳坡	30	0.7	10.5	8.9	棕壤

2.1.2 枯落物持水量和吸水速率 利用室内浸泡法对 3 种林分的枯落物持水量和持水速率进行测定,测量枯落物的厚度,然后要快速对其鲜重进行称量,此后带回实验室进行烘干,对其重量进行再次称重,最后将需要测定的枯落物在水中进行浸泡,在 0.5,1,2,4,8,24 h 对枯落物的重量变化要进行测定,从而得出枯落物的持水量、持水速率和最大持水率测定枯落物的持水量^[9-11]。

为体现枯落物的真实拦蓄量一般都用有效拦蓄量表示:

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

式中:W 代表有效拦蓄量(t/hm²);R_m 代表最大持水率(%);R₀ 代表自然含水率(%);M 代表枯落物储量(t/hm²)。

2.2 土壤层物理水源涵养功能测定

利用环刀法和双环法对土壤层的性质进行测定^[12-13],在林分标准地中选取合适进行土壤剖面的挖取,将土壤分为 3 层,分别为 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,并对土壤容重、孔隙度、持水能力指标进行测定。

土壤持水量公式为:W=10000Ph

式中:W 代表土壤持水量(t/hm²);P 代表土壤孔隙度(%);h 代表土壤厚度(m)。

3 结果与分析

3.1 枯落物蓄积量

枯落物的存量多少是由很多因素决定的,决定枯落物存量的是林分枯落物的进入量和分解量,而林分枯落物的进入量是与林分树种组成、郁闭度、样地的水平及垂直结构、本身的厚度和林下植被生长情况等都是有关系的。从表 2 中可以看出,不同海拔梯度的枯落物总蓄积量有一定的差别,总蓄积量变动范围为 32.14~41.97 t/hm²,枯落物总蓄积量由大到小排序为:V>I>IV>II>III,随着海拔的升高,油松纯林枯落物总蓄积量是先减少后增加的。对 5 个海拔梯度枯落物的未分解层、半分解层进行分析研究,表明:各海拔梯度的蓄积量所占比例不同,其中未分解枯落物蓄积量都小于半分解层;未分解层枯落物蓄积量随着海拔变化是先减小后增大,由大到小依次排序为 I>II>V>IV>III,半分解层枯落物蓄积量随着海拔变化是先减小后增大,由大到小依次排序为 V>I>IV>II>III;未分解层枯落物蓄积量占有的比例随着海拔的增大而减小,其中样地 I 所占比例最大,为 19.03%,最小的为样地 V,为 14.34%,大小排序为 I>II>III>IV>V,而半分解层蓄积量占有的比

例随海拔变化的规律与未分解层恰好相反,排序为 $V>IV>III>II>I$,以上表明高海拔(1 450 m)枯落物分解速度较快,而低海拔海拔(910 m)分解速度

较慢,主要原因是海拔高的地方阳光能够直接射到林分的地面,接受的阳光比较多,而低海拔的则相反,枯落物不能够充分的分解。

表 2 不同海拔梯度油松纯林枯落物蓄积量

样地号	总厚度/ cm	总蓄积量/ (t·hm ⁻²)	未分解层			半分解层		
			厚度/ cm	蓄积量/ (t·hm ⁻²)	占总量/ %	厚度/ cm	蓄积量/ (t·hm ⁻²)	占总量/ %
I	48.3	40.21	19.2	7.65	19.03	29.1	32.56	80.97
II	38.7	33.89	13.6	6.23	18.38	25.1	27.66	81.62
III	37.5	32.14	13.4	5.22	16.24	24.1	26.92	83.76
IV	42.6	35.67	16.1	5.66	15.87	26.5	30.01	84.13
V	49.5	41.97	18.6	6.02	14.34	30.9	35.95	85.66

3.2 不同海拔梯度枯落物水源涵养功能

3.2.1 不同海拔梯度枯落物最大持水量 由表 3 可知,随着海拔的升高最大持水量先减小后增大,最高的为样地 V,达到了 103.95 t/hm²,与 10.40 mm 降雨相当,样地 II 的最低,为 67.31 t/hm²,与 6.73 mm 降雨相当,大小排序为 $V>IV>I>III>II$,其中枯落物未分解层最大持水量最小的为样地 III,最大的为样地 I,半分解层最小的为样地 II,最高的为样地 V;枯落物最大持水率随着海拔的升高先减小后增大再减小,变化的范围在 196.85%~253.34%,大小排序为 $IV>V>III>I>II$ 。枯落物总和最大持水量与最大持水率随着海拔的升高呈现了不同的规律,这与两者的相关因子有关系,最大持水量与枯落物的蓄积量有关,而枯落物的两个分解层的组成比例和枯落物厚度有关系。

表 3 不同海拔梯度油松纯林最大持水量和最大持水率

样地号	最大持水量/(t·hm ⁻²)			最大持水率/%		
	未分解层	半分解层	总和	未分解层	半分解层	总和
I	15.23	68.97	84.20	199.08	211.82	205.45
II	12.09	55.22	67.31	194.06	199.64	196.85
III	10.89	68.29	79.18	208.62	253.68	231.15
IV	13.55	80.21	93.76	239.40	267.28	253.34
V	13.64	90.31	103.95	226.58	251.21	238.89

3.2.2 不同海拔梯度枯落物有效拦蓄量 枯落物的最大持水率在一定程度上反映了其持水能力的大小,但是不能够真实地反映其拦蓄情况,因为最大持水率并没有把枯落物在测定前的自然含水状况考虑在内,这样会导致高估林分的拦蓄能力,因此有效拦蓄能力更能合适地表达林分的拦蓄能力。从表 4 可看出,未分解层有效拦蓄率大小排序为 $IV>V>III>I>II$,半分解层有效拦蓄率大小排序为 $IV>V>III>II>I$,未分解层与半分解层规律的不同主要是因为两者的储量和吸水速率不同。由有效拦蓄量看,未分解层大小排序为: $I>V>IV>II>III$,半分解层 $V>$

$IV>III>I>II$,两者的差别主要是由于枯落物蓄积量不同;综合未分解层和半分解层的变化规律可知,有效拦蓄能力最强的为样地 V,为 84.69 t/m²,相当于拦蓄 8.47 mm 的降雨,样地 II 拦蓄能力最弱,为 48.16 t/hm²,只相当于拦蓄 4.82 mm 的降雨,即海拔(1 450 m)拦蓄能力较强,海拔(1 050 m)较弱。

表 4 不同海拔枯落物拦蓄能力

枯落物层	样地号	自然 含水率/%	有效 拦蓄率/%	有效拦蓄量/ (t·hm ⁻²)	有效 拦蓄深/mm
未分解层	I	7.55	161.67	12.37	1.24
	II	5.10	159.85	9.96	1.00
	III	5.99	171.34	8.94	0.89
	IV	6.02	197.47	11.18	1.12
	V	5.89	186.70	11.24	1.12
半分解层	I	45.33	134.72	43.87	4.39
	II	31.59	138.10	38.20	3.82
	III	22.31	193.32	52.04	5.20
	IV	15.35	211.84	63.57	6.36
	V	9.22	204.31	73.45	7.34

3.2.3 枯落物持水过程 从图 1 可以看出,在最初浸泡的 0.5 h 内,枯落物持水速率比较高,持水量会迅速增加,随着时间的推移而呈现不断增长的趋势,在 8 h 左右持水量增加速度会变缓,变化规律与枯落物拦蓄地表径流规律非常相似,在降雨初期,枯落物拦蓄地表径流能力比较强,此后随枯落物湿度的增加,吸持能力降低。在到达 24 h 的持水量,从未分解层来看是 $IV>V>III>I>II$,半分解层是 $IV>III>V>I>II$ 。

对 1~24 h 之间 5 个海拔林分枯落物各层持水量与浸泡时间的关系进行回归分析,得出该时间段内持水量与浸泡时间之间存在如下关系式(表 5)为:

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

式中:Q 表示枯落物持水量(g/kg);t 表示浸泡时间(h);a 表示方程系数;b 表示方程常数项。

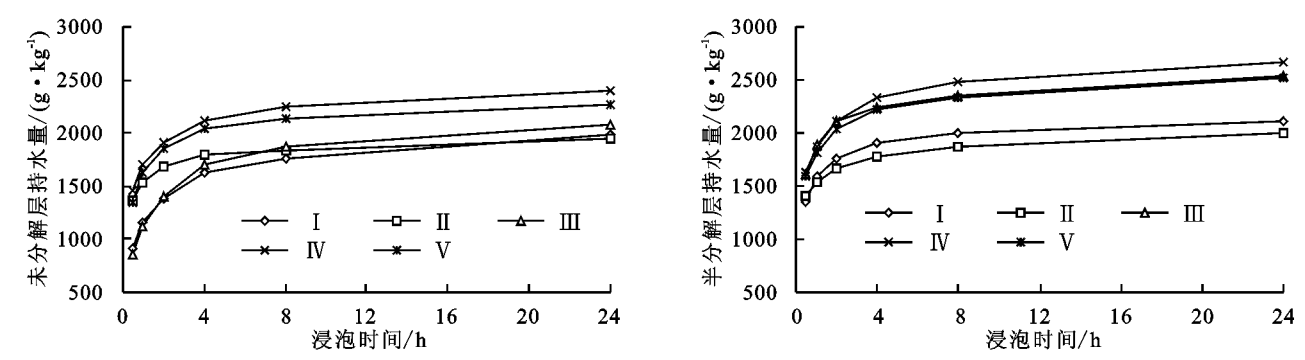


图 1 枯落物不同分解层持水量与浸泡时间的关系

表 5 不同海拔梯度枯落物持水量、持水率与浸泡时间关系

枯落物层	样地号	持水量与浸泡时间关系式	R	持水率与浸泡时间关系式	R
未分解层	I	$Q=279.38\ln t+1163$	0.9919	$V=1144.5t^{-0.802}$	0.9983
	II	$Q=144.52\ln t+1529.9$	0.9703	$V=1523.8t^{-0.913}$	0.9996
	III	$Q=327.32\ln t+1143.9$	0.9867	$V=1114.4t^{-0.769}$	0.9965
	IV	$Q=242.75\ln t+1702$	0.9834	$V=1690t^{-0.874}$	0.9993
	V	$Q=235.79\ln t+1618.3$	0.9693	$V=1602.3t^{-0.87}$	0.9988
半分解层	I	$Q=193.26\ln t+1571.7$	0.9778	$V=1562t^{-0.889}$	0.9994
	II	$Q=154.06\ln t+1536.4$	0.9937	$V=1532.7t^{-0.909}$	0.9998
	III	$Q=231.57\ln t+1867.7$	0.9790	$V=1856.1t^{-0.888}$	0.9993
	IV	$Q=273.15\ln t+1882.9$	0.9879	$V=1870.8t^{-0.872}$	0.9994
	V	$Q=238.66\ln t+1822.9$	0.9854	$V=1812.6t^{-0.883}$	0.9995

3.2.4 不同海拔梯度枯落物吸水速率 从图 2 可以看出,5 个样地不同梯度枯落物吸水速率呈现出一定的规律性:未分解层和半分解层都是在前 0.5 h 内吸水速率非常高,随后迅速减小,这种现象的出现主要是因为枯枝落叶从风干状态浸入水中后,枯枝落叶表面水势差较大,吸水速率高;4 h 左右时吸水速率下降的速度明显减缓,在浸泡 24 h 以后基本处于停止状态,即枯落物随浸泡时间延长,吸水速率趋向一致。这主要是因

为随着浸泡时间增长,枯落物持水量接近其最大持水量,即枯落物逐渐趋于饱和,其持水量增长速度随之减缓所致。对 5 块样地不同海拔不同层次枯落物吸水速率与浸泡时间进行拟合,得出该时间段内吸水速率与浸泡时间之间的拟合模型(表 5)为:

$$V=kt^n \quad R>0.99$$

式中:V 为枯落物吸水速率[g/(kg·h)];t 为浸泡时间(h);k 为方程系数;n 为指数。

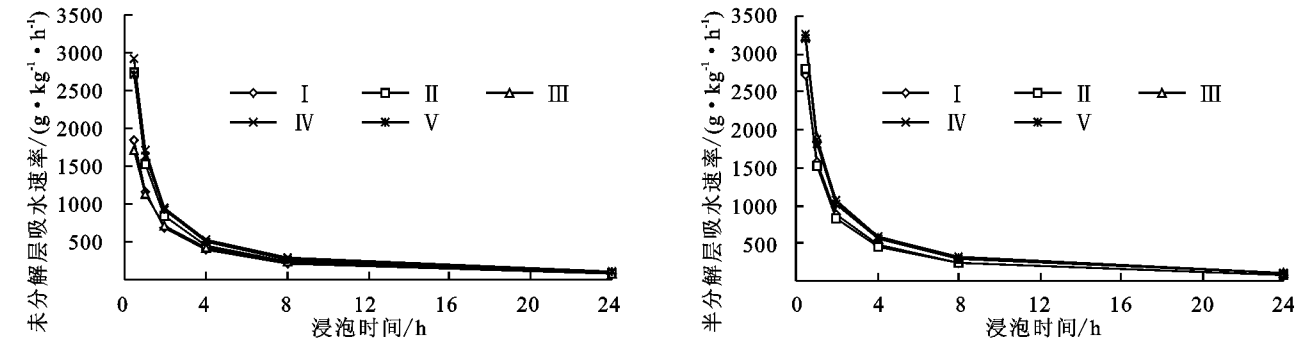


图 2 枯落物不同分解层吸水速率与浸泡时间的关系

3.3 不同海拔梯度土壤层物理性质及水源涵养功能

3.3.1 不同海拔梯度土壤层容重 土壤容重说明土壤的松紧程度及孔隙状况,反映了土壤的透水性、通气性和根系生长的阻力状况。土壤容重小,表明土壤疏松多孔,结构性良好,容重大则相反,而该林龄的水平根系主要集中在 30—40 cm 左右,因此土层的厚度选择 0—40 cm。由表 6 可知,不同样地土壤容重有

较大差异,在 0—40 cm 土层内,土壤容重均值排列顺序为Ⅳ>Ⅲ>Ⅱ>Ⅴ>Ⅰ,即随海拔升高土壤总容重先增大后减小。从土壤容重的垂直变化看,5 个海拔梯度土壤容重变化趋势有相同的规律,即随土层深度加深土壤容重逐渐增大。在容重均值最大的样地Ⅳ内,容重从 0—10 cm 的 1.13 g/cm³ 增加到 20—40 cm 的 1.27 g/cm³;在容重均值最小的样地Ⅰ内,容重从 0—10 cm

的 0.85 g/cm³ 增加到 20—40 cm 的 1.06 g/cm³。造成这种变化的原因主要是随土层深度增加,土壤中有

机质含量逐渐减少,土壤团聚性降低,从而增加了土壤的紧实度,表层土壤疏松、底层土壤则相反。

表 6 不同海拔梯度土壤物理性质及持水量

样地号	土层 厚度/cm	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	非毛管 孔隙度/%	毛管 孔隙度/%	总毛管 孔隙度/%	有效持水量/ (t·hm ⁻²)	毛管持水量/ (t·hm ⁻²)	饱和持水量/ (t·hm ⁻²)
I	0—10	0.85	4.56	46.97	51.53	45.60	469.70	515.30
	10—20	0.96	3.29	42.56	45.85	32.90	425.60	458.50
	20—40	1.06	2.99	41.02	44.01	59.80	820.40	880.20
	平均	0.96	3.61	43.52	47.13	36.13	435.17	471.30
II	0—10	1.05	4.13	40.07	44.20	41.30	400.70	442.00
	10—20	1.02	3.11	35.26	38.37	31.10	352.60	383.70
	20—40	1.10	2.88	33.10	35.98	57.60	662.00	719.60
	平均	1.06	3.37	36.14	39.52	33.73	361.43	395.17
III	0—10	1.08	4.05	49.23	53.28	40.50	492.30	532.80
	10—20	1.13	3.12	46.06	49.18	31.20	460.60	491.80
	20—40	1.20	2.83	44.29	47.12	56.60	885.80	942.40
	平均	1.14	3.33	46.53	49.86	33.33	465.27	498.60
IV	0—10	1.13	3.82	51.23	55.05	38.20	512.30	550.50
	10—20	1.19	3.06	49.26	52.32	30.60	492.60	523.20
	20—40	1.27	2.13	47.38	49.51	42.60	947.60	990.20
	平均	1.20	3.00	49.29	52.29	30.03	492.90	522.93
V	0—10	0.91	2.64	55.26	57.90	26.40	552.60	579.00
	10—20	0.99	2.90	51.28	54.18	29.00	512.80	541.80
	20—40	1.05	1.87	49.37	51.24	37.40	987.40	1024.80
	平均	0.98	2.47	51.97	54.44	24.70	519.70	544.40

3.3.2 不同海拔梯度土壤层孔隙度 土壤孔隙的组成会直接影响土壤通透性,对森林生态系统而言,毛管孔隙度大小反映了森林植被吸持水分用于维持自身生长发育的能力;而非毛管孔隙度大小反映了森林植被滞留水分、发挥涵养水源和削减洪水的能力。从表 6 可以看出,土壤总毛管孔隙度从垂直方向来看,5 个样地都是随着土壤厚度的加深而减小,说明油松纯林土壤表层比较疏松,样地 I 的总孔隙度从 0—10 cm 的 51.53 %减小到 20—40 cm 的 44.01%,样地 V 的总孔隙度从 0—10 cm 的 57.90%减小到 20—40 cm 的 51.24%。土壤总孔隙度均值大小排序为 V>IV>III>I>II,即随海拔升高总孔隙度先减小后增大。5 个海拔梯度土壤毛管孔隙度均值排序与总孔隙度一致,毛管孔隙度大,土壤中有效水的贮存量越大,树木用于自身生长发育所需的有效水分的比例越大,说明随海拔增加油松人工林土壤毛管孔隙度增大,即低海拔油松人工林用于自身生长发育所需的有效水分的比例大,高海拔相反。

3.3.3 不同海拔梯度土壤蓄水能力 林地土壤的蓄水能力是评价森林涵养水源的重要指标,其大小与土

壤厚度和土壤孔隙度状况有关。非毛管孔隙能较快吸收降水并及时下渗,有利于水源涵养。因此,不同林地土壤的非毛管孔隙度不同,林地的蓄水能力也不相同。由表 6 可知,不同海拔土壤蓄水性能存在一定差异,从土壤饱和持水量均值来看,其大小顺序为 V>IV>III>I>II,样地 V 土壤贮蓄水分潜在能力为样地 II 的 1.38 倍。土壤有效持水量大小取决于非毛管孔隙度的大小,有效持水量均值大小顺序为 I>II>III>IV>V,其中样地 I 有效持水量最大,说明低海拔(910 m)油松纯林持水能力最强,高海拔(1 450 m)最弱。

3.3.4 土壤层的渗透性 土壤的渗透性越好,林分的水源涵养能力越强,土壤的流失也会比较小,地表的径流也会比较少,从而减少林分土壤的被侵蚀的程度。从表 7 可以看出,不同海拔土壤层的初渗速率差距比较大,样地 II 初渗速率最大,为 39.56 mm/min,最低的是样地 V,为 10.88 mm/min,大小排序为:II>I>III>IV>V;随着时间的不断推移,土壤的入渗速率会趋于稳定,稳渗速率大小排序为:II>I>V>III>IV。对林分土壤的入渗速率与入渗时间

进行关系拟合,两者具有较好的函数关系:

$$f=at-b \quad (R>0.92)$$

式中: f 为入渗速率(mm/min); a,b 为常数; t 为入渗时间(min)。

表 7 3 种林分类型土壤渗透的速率及渗透数学模型

样地号	初渗速率/ (mm·min ⁻¹)	稳渗速率/ (mm·min ⁻¹)	回归方程	R
I	16.26	1.59	$f=20.487t^{-0.795}$	0.9677
II	39.56	3.86	$f=62.784t^{-0.843}$	0.9759
III	13.95	1.37	$f=23.448t^{-0.802}$	0.9500
IV	11.26	1.33	$f=14.611t^{-0.75}$	0.9799
V	10.88	1.41	$f=19.33t^{-0.71}$	0.9204

4 结 论

(1) 枯落物总蓄积量大小排序为 $V>I>IV>II>III$,未分解层枯落物蓄积量随着海拔变化是先减小后增大,由大到小依次排序为 $I>II>V>IV>III$,半分解层枯落物蓄积量随着海拔变化是先减小后增大,由大到小依次排序为 $V>I>IV>II>III$,说明高海拔枯落物分解速度较快;枯落物最大持水量总和随海拔升高表现为先减小而后增大,大小排序为 $V>IV>I>III>II$,最大持水率随海拔的升高而呈现先增大后减小的变化规律,变化的范围在 196.85%~253.34%,大小排序为 $IV>V>III>I>II$;在浸水初期,枯落物持水速率比较高,持水量会迅速增加,随着时间的推移而不断增加,在到达 24 h 的持水量,从未分解层来看是 $IV>V>III>I>II$,半分解层是 $IV>III>V>I>II$ 。

(2) 在 0—40 cm 土层内,随海拔升高土壤总容重先增大,且同一海拔土壤容重呈现随土壤厚度的加深而增大的变化规律,总孔隙度随海拔升高表现为先减小后增大;从土壤饱和持水量均值来看,其大小顺序为 $V>IV>III>I>II$,即高海拔油松人工林土壤贮蓄水分潜在能力最强,样地 V 土壤贮蓄水分潜在能力为样地 II 的 1.38 倍。土壤有效持水量均值大小顺序为 $I>II>III>IV>V$,低海拔(910 m)持水能力最强,高海拔(1 450 m)最弱。

(3) 不同海拔土壤层的初渗速率差距比较大,样地 II 初渗速率最大,为 39.56 mm/min,最低的是样地 V,为 10.88 mm/min,大小排序为: $II>I>III>$

$IV>V$;随着时间的不断推移,土壤的入渗速率会趋于稳定,稳渗速率大小排序为: $II>I>V>III>IV$;入渗速率与入渗时间存在较好的幂函数关系: $f=at-b(R>0.92)$ 。

参考文献:

[1] 田超,杨新兵,李军,等. 冀北山地不同海拔蒙古栎林枯落物和土壤水文效应[J]. 水土保持学报,2011,25(4): 222-227.

[2] 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.

[3] 姜海燕,赵雨森,陈祥伟,等. 大兴安岭岭南几种主要森林类型土壤水文功能研究[J]. 水土保持学报,2007,21(3):149-153.

[4] 陈波,孟成生,赵耀新,等. 冀北山地不同海拔华北落叶松人工林枯落物和土壤水文效应[J]. 水土保持学报,2012,26(3):216-221.

[5] 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.

[6] 张宁,郭宾良,于士涛,等. 冀北山地 4 种典型落叶松林分生态功能研究[J]. 水土保持研究,2015,22(2):320-327.

[7] 孙艳红,张洪江,杜士才,等. 四面山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2009,23(5):109-112.

[8] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等. 北京山地不同海拔人工油松林枯落物及其土壤水文效应[J]. 水土保持研究,2013,20(6):54-58.

[9] 卢振启,黄秋嫻,杨新兵,等. 河北雾灵山不同海拔油松人工林枯落物及土壤水文效应研究[J]. 水土保持学报,2014,28(1):113-116.

[10] 梁晓娇,王树力. 阿什河源头不同类型红松人工林枯落物及其土壤水文特性[J]. 水土保持学报,2017,31(1): 140-145.

[11] 杨振奇,秦富仓,李晓琴,等. 砬砂岩区主要造林树种枯落物及林下土壤持水特性[J]. 水土保持学报,2017,31(3):118-122.

[12] 谈正鑫,万福绪,张涛. 盱眙人工林枯落物及土壤水文效应研究[J]. 水土保持研究,2015,22(4):184-188.

[13] 韩雪成,赵雨森,辛颖,等. 大兴安岭北部火烧迹地兴安落叶松人工林土壤水文效应[J]. 水土保持学报,2012,26(4):183-188.