

# 小兴安岭南麓典型森林类型的土壤水文功能研究

张淑兰<sup>1</sup>, 张海军<sup>1</sup>, 张武<sup>1</sup>, 王长宝<sup>1</sup>, 邓际华<sup>2</sup>, 宋英博<sup>3</sup>, 张强<sup>1</sup>

(1. 佳木斯大学, 黑龙江 佳木斯 154007; 2. 黑龙江省合江林业科学研究所,  
黑龙江 佳木斯 154002; 3. 黑龙江省农业科学院佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007)

**摘要:**通过测定土壤水文物理性质、持水及渗透性能,分析了小兴安岭南麓典型森林土壤的持水、蓄水和渗透能力,并利用 Kostiakov 方程、Horton 方程和 Philip 方程模拟了土壤入渗过程。结果表明:该区森林土壤容重介于 0.45~1.52 g/cm<sup>3</sup>之间;不同植被类型饱和含水率为 28.73%~177.32%,毛管含水率 25.26~156.84%,自然含水率 13.91%~119.18%,随着土层深度加厚,三者具有明显减小趋势;土壤最大持水量范围为 282.88~341.41 mm,有效持水量为 27.88~61.13 mm,涵养降水能力为 165.98~197.37 mm(除人工兴安落叶松林为 76.32 mm 以外);各植被类型土壤初渗速率和稳渗速率最大值在 0—10 cm 或 10—20 cm 土层,平均值分别为 11.92 mm/min 和 2.78 mm/min,二者最小值在不同的植被类型下出现的土层不同,平均值分别为 2.19 mm/min 和 0.66 mm/min;从土壤的入渗过程模拟看,Horton 方程的模拟效果较好。

**关键词:**土壤水文物理;持水能力;渗透性;小兴安岭

中图分类号:S715.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)01-0140-06

## Soil Hydrological Properties of Main Vegetation in Down South of Xiao Xing'an Mountains

ZHANG Shulan<sup>1</sup>, ZHANG Haijun<sup>1</sup>, ZHANG Wu<sup>1</sup>, WANG Changbao<sup>1</sup>,  
DENG Jihua<sup>2</sup>, SONG Yingbo<sup>3</sup>, ZHANG Qiang<sup>1</sup>

(1. Jiamusi University, Jiamusi, Heilongjiang 154007, China;

2. Hejiang Forestry Institute of Heilongjiang Academy of Forestry Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154002, China;

3. Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154007, China)

**Abstract:**Based on soil hydrology physical properties, water holding capacity and infiltration, the water storage and infiltration capacity were analyzed in typical forest stands in down south of Xiaoxing'an Mountains, and Kostiakov equation, Horton equation and Philip equation were used to simulate the soil infiltration processes. The results showed that soil bulk density was between 0.45~1.52 g/cm<sup>3</sup>, and soil saturated moisture contents of different vegetation types were between 28.73%~177.32%, capillary moisture contents were 25.26%~156.84%, the natural moisture contents were 13.91%~119.18%, and these three parameters obviously decreased with increase of soil depth; the range of soil maximum storage capacity was 282.88~341.41 mm, effective capacity was 27.88~61.13 mm, retention ability of precipitation was 165.98~197.37 mm (except for artificial *Larix gmelini* forest of 76.32 mm). Soil initial infiltration rate and steady infiltration rate of each vegetation type were the largest in 0—10 cm or 10—20 cm soil layer, the average value was 11.92 mm/min and 2.78 mm/min, respectively, and their minimum values in different vegetation types present in different soil layers, with average value of 2.19 mm/min and 0.66 mm/min. According to the soil infiltration process simulation, Horton equation was better for this simulation.

**Keywords:**soil hydrological properties; water storage capacity; infiltration; Xiao Xing'an Mountains

森林土壤的水文功能主要指土壤的持水能力及渗透特性,是森林植被保持水土和涵养水源作用的重要体现<sup>[1-3]</sup>,也是森林生态系统服务功能评价的一个

重要指标<sup>[4-5]</sup>。其中,森林土壤的持水能力是指森林生态系统中涵养土壤水分、补充地下水和调节河川流量的功能,其与森林土壤的物理性质有直接的关

收稿日期:2014-04-11

修回日期:2014-04-29

资助项目:国家自然科学基金项目(41301034);黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12531703);佳木斯大学青年基金项目(Sq2012-32)

第一作者:张淑兰(1980—),女,河北省滦南县人,博士,讲师,主要从事森林生态、生态水文过程与模型应用研究。E-mail:zhangshulan1980@163.com

系<sup>[6-7]</sup>;同时研究表明森林土壤层对降水的调节能力可占 90%以上<sup>[8-10]</sup>,土壤渗透特性主要表现为水分入渗速率,不仅受土壤物理性质的影响,还要受降雨因素、植被状况、地形因素等影响,对地表径流的产生和流域产流量的大小具有重要作用<sup>[11-12]</sup>。小兴安岭地区森林覆盖率达 80%以上,其重要的涵养水源功能价值可占到森林生态系统服务功能总价值的 30%以上<sup>[13]</sup>。目前,有关该区森林土壤水文功能的研究报道较少;因此,本研究选择小兴安岭南麓的典型森林植被类型,对其典型样地下的土壤进行持水和蓄水能力测定与分析,为该区更好地全面评价和合理估测森林生态系统服务功能价值提供理论参考。

1 研究区和研究样地概况

研究地点位于汤旺河流域下游、小兴安岭南麓汤原县大亮子河国家级森林公园腹地(129°37′11″—129°45′22″E,46°57′47″—47°03′25″N),总面积 71.71

km<sup>2</sup>,海拔在 300~700 m,属低山丘陵地带。气候属于温带大陆性季风气候,年平均气温 1.3℃,无霜期为 100~120 d,年平均降水量为 550~670 mm,一般风力在 5~6 级。冬季漫长、严寒干燥而多风雪;夏季湿润、温热而短促;春季迟缓,多风少雨;秋季降温急剧,常出现早霜。区内森林土壤以暗棕壤为主,森林覆盖率 86.5%,主要植被有原始红松林(*Pinus koraiensis*)以及白桦林(*Betula platyphylla*)、臭冷杉林(*Abies nephrolepis*)、红皮云杉林(*Picea koraiensis*)、柞树林(*Quercus mongolica*)等天然次生林及其混交林,并有部分人工兴安落叶松林(*Larix gmelini*)和人工红松林;林缘有少量灌木林。本次研究于 2013 年 7—8 月份对该区的原始红松林Ⅰ、白桦林、臭冷杉林、针阔混交林、人工兴安落叶松林和人工红松林Ⅱ共 6 种森林植被类型的土壤进行取样,其中针阔混交林为云杉(*Picea asperata*)、冷杉(*Abies*)、槭树(*Acer saccharum*)等混交林。具体样地情况如表 1 所示。

表 1 6 种森林植被类型研究样地概况

样地	植被类型	海拔/m	坡位	坡向	郁闭度	林分起源	平均林龄/a	平均树高/m	土壤类型	土壤厚度/cm
A	红松林Ⅰ	573	近坡顶部	半阴半阳	0.7	天然林	200	26	暗棕壤	60
B	白桦林	567	坡顶部	平地	0.4	天然林	80	18	暗棕壤	50
C	臭冷杉林	479	坡中部	半阴半阳	0.6	天然林	200	24	暗棕壤	50
D	针阔混交林	482	坡中部	半阴半阳	0.6	天然林	150	21	暗棕壤	50
E	兴安落叶松林	365	坡底部	阴坡	0.4	人工林	20	16	沼泽土	50
F	红松林Ⅱ	401	坡底部	阳坡	0.5	人工林	22	18	暗棕壤	50

2 研究方法

2.1 土壤物理性质测定

在 6 种植被类型样地上,选取代表性的地段并挖掘土壤剖面,记录土壤剖面发生层次,并机械划分土层,用 200 cm<sup>3</sup>(高 5.2 cm,半径 3.5 cm)的环刀在 0—10,10—20,20—40,40—50 cm 深度取土,每层 3 个重复。利用环刀法测定土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度及非毛管孔隙度等物理性质<sup>[14]</sup>。

2.2 土壤持水能力测定

土壤持水能力是评价土壤涵养水源及水文调节功能的重要指标,包括毛管持水能力和非毛管持水能力,其中非毛管持水能力称为有效持水能力,二者之和为土壤最大持水能力<sup>[13]</sup>。其计算公式为:

$$S_1=10000\times h\times p_1\times r;S_2=10000\times h\times p_2\times r$$

式中: $S_1$ ——土壤非毛管持水能力(t/hm<sup>2</sup>); $S_2$ ——土壤毛管持水能力(t/hm<sup>2</sup>); $h$ ——土壤厚度(m); $p_1$ ——非毛管孔隙度(%); $p_2$ ——毛管孔隙度(%); $r$ ——水的比重(t/m<sup>3</sup>)。

2.3 土壤渗透性的测定与模拟

在各植被类型典型样地上,同样用 200 cm<sup>3</sup> 的环

刀在各土层深度取样,每层 3 个重复,并保持土壤环刀样品原状,参照单环有压入渗法<sup>[13]</sup>,供水前浸泡时间为 24 h,人工供水保持 5~6 cm 的水头测定土壤渗透过程,确定不同土层的土壤水分入渗的初渗速率和稳渗速率;然后,利用 SPSS 16.0 对 3 种常用的入渗模型进行拟合分析,3 种模型的方程分别如下:

Kostiakov 方程: $f(t)=at^{-b}$ 

式中: $f(t)$ ——入渗透速率; $t$ ——入渗时间; $a,b$ ——拟合参数。

Horton 方程: $f(t)=f_c+(f_0-f_c)e^{-\beta t}$ 

式中: $f(t)$ ——入渗透速率; $t$ ——入渗时间; $f_0$ , $f_c$ ——初渗速率和稳渗速率; $\beta$ ——经验参数。

Phillip 方程: $f(t)=0.5St^{-1/2}+A$ 

式中: $f(t)$ ——入渗速率; $S$ ——吸着率; $A$ ——稳渗速率。

3 结果与分析

3.1 土壤物理特征分析

表 2 为小兴安岭南麓主要植被类型土壤水文物理性质。从表中可见,各植被类型的土壤有明显的分

异,0—10 cm 土层的容重在各土层中均为最小值,且 0—20 cm 土层的土壤容重均在 1.00 g/cm<sup>3</sup> 以下,介于 0.45~1.00 g/cm<sup>3</sup> 之间;大于 20 cm 深度的土层容重大多大于 1.00,介于 0.76~1.52 g/cm<sup>3</sup>;各植被类型 0—50 cm 的平均容重除白桦林为 1.13 g/cm<sup>3</sup> 外,其他均略小于 1.00 g/cm<sup>3</sup>,平均为 0.90 g/cm<sup>3</sup>。

表 2 各植被类型典型研究样地各土层及 0—50 cm 深度土壤物理性质平均值

植被类型	土层/cm	土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	饱和含水率/%	毛管含水率/%	自然含水率/%	通气度/%
红松林 I	0—10	0.59	74.61	63.91	10.70	127.32	109.06	55.12	42.31
	10—20	0.76	68.77	49.87	18.90	90.13	65.36	38.14	39.67
	20—30	1.07	58.51	47.99	10.52	54.48	44.68	23.56	33.21
	30—40	0.99	61.35	48.67	12.68	62.09	49.26	22.98	38.65
	40—50	1.23	53.53	45.20	8.33	43.70	36.90	22.61	25.83
	0—50	0.93	63.35	51.13	12.23	75.55	61.05	32.48	35.93
白桦林	0—10	0.72	70.22	49.26	20.96	97.67	68.51	26.29	51.32
	10—20	1.00	60.26	51.05	9.21	59.02	50.00	23.21	36.56
	20—30	1.15	55.87	47.79	8.08	48.41	41.41	24.18	27.97
	30—40	1.25	52.80	41.12	11.68	42.34	32.98	19.33	28.70
	40—50	1.52	43.73	38.45	5.28	28.73	25.26	14.65	21.43
	0—50	1.13	56.58	45.53	11.04	55.24	43.63	21.53	33.20
臭冷杉林	0—10	0.65	72.36	63.84	8.52	110.63	97.60	53.19	37.57
	10—20	0.79	67.84	58.49	9.35	85.73	73.92	40.15	36.07
	20—30	0.98	61.48	55.02	6.46	62.49	55.92	31.52	30.47
	30—40	1.20	54.35	47.27	7.08	45.29	39.39	21.16	28.96
	40—50	1.10	57.61	42.17	15.44	52.32	38.29	19.42	36.23
	0—50	0.95	62.73	53.36	9.37	71.29	61.02	31.16	33.86
针阔混交林	0—10	0.45	79.21	66.73	12.48	177.32	149.38	72.38	46.88
	10—20	0.64	72.72	61.72	11.00	113.04	95.94	49.23	41.05
	20—30	0.95	62.52	53.13	9.39	65.63	55.77	28.18	35.68
	30—40	1.15	56.15	45.20	10.95	49.03	39.46	14.72	39.29
	40—50	1.11	57.44	43.84	13.60	51.93	39.63	20.76	34.47
	0—50	0.86	65.61	54.12	11.48	91.39	76.04	36.07	39.47
兴安落叶松林	0—10	0.48	78.20	64.02	14.18	163.84	134.13	105.32	27.93
	10—20	0.46	78.74	72.27	6.47	170.88	156.84	119.18	23.82
	20—30	0.76	68.79	65.51	3.28	90.25	85.94	78.41	9.02
	30—40	0.83	66.41	63.94	2.47	79.58	76.62	71.36	6.86
	40—50	1.35	49.27	47.79	1.48	36.38	35.29	29.97	8.69
	0—50	0.78	68.28	62.71	5.58	108.19	97.76	73.38	15.26
红松林 II	0—10	0.62	73.54	62.95	10.59	118.92	101.79	42.30	47.38
	10—20	0.81	67.31	56.82	10.49	83.36	70.37	26.33	46.05
	20—30	1.04	59.78	50.45	9.33	57.72	48.72	20.70	38.34
	30—40	1.14	56.32	49.68	6.64	49.38	43.56	21.00	32.37
	40—50	1.36	49.05	42.72	6.33	36.05	31.40	13.91	30.12
	0—50	0.99	61.20	52.52	8.67	69.09	59.17	32.94	38.85

从土壤的孔隙度看,土壤容重较轻的土层总孔隙度和毛管孔隙一般较大,反之,二者则较小;不同植被类型的总孔隙度为 43.73%~79.21%,毛管孔隙度为 38.45%~72.27%,非毛管孔隙度为 1.48%~20.96%;0—50 cm 的平均总孔隙度和毛管孔隙度均以白桦林最小(56.8%和 45.53%),其他各植被类型分别为 61.20%~68.28%和 51.13%~62.71%,均以人工兴安落叶松林最大,而平均非毛管孔隙度则以人工兴安落叶松林最小(5.58%),其他植被类型分别为 8.67%~12.23%,以原始红松林 I 最大。从不同植被类型持水能力看,各土层饱和含水率介于 28.73%~177.32%,毛管含水率 25.26%~156.84%,自然含水率 13.91%~119.18%,并随着土层深度加厚,三者均具有明显减小趋势;其中人工兴安落叶松林的饱和含水率(平均 108.19%)、毛管含水率(平均 97.76%)和自然含水率(平均 73.38%)最大,而白桦林的三者均较小,分别为 55.24%、43.63%和 21.53%,其他则分别介于 69.09%~91.39%,59.17%~76.04%和 31.16%~36.07%。根据土壤孔隙度及持水能力得出,各植被类型土壤通气度除人工兴安落叶松最小(15.26%)外,其他均差异不大,介于 33.20%~39.47%之间。

3.2 土壤持水和蓄水能力分析

表 3 为各主要植被类型样地 0—50 cm 土厚的持水和蓄水能力,结果表明,该区在持水和蓄水能力上各植被类型间具有较大的差别。从持水能力看,各植被类型土壤的自然持水量为 111.74~265.09 mm,其大小依次为兴安落叶松林(265.09 mm)>臭冷杉林(144.34 mm)>红松林 I (137.10 mm)>针阔混交林(130.67 mm)>白桦林(116.090 mm)>红松林 II (111.74 mm);最大持水量 282.88~341.41 mm,依次为兴安落叶松林(341.41 mm)>针阔混交林(328.04 mm)>红松林 I (316.77 mm)>臭冷杉林(313.65 mm)>红松林 II (305.99 mm)>白桦林(282.88 mm);有效持水量 27.88~61.13 mm,依次为红松林 I (61.13 mm)>针阔混交林(57.42 mm)>白桦林(55.21 mm)>臭冷杉林(46.86 mm)>红松林 II (43.37 mm)>兴安落叶松林(27.88 mm)。

表 3 主要植被类型典型样地 0—50 cm 土层的持水和蓄水能力

植被类型	mm					
	自然持水量	最大持水量	有效持水量	毛管持水量	涵蓄降水量	有效涵蓄降水量
红松林 I	137.10	316.77	61.13	255.64	179.67	118.54
白桦林	116.90	282.88	55.21	227.67	165.98	110.77
臭冷杉林	144.34	313.65	46.86	266.79	169.31	122.45
针阔混交林	130.67	328.04	57.42	270.62	197.37	139.95
兴安落叶松林	265.09	341.41	27.88	313.53	76.32	48.44
红松林 II	111.74	305.99	43.37	262.62	194.25	150.88

从土壤蓄水能力看,其与土壤前期自然含水量和最大持水量密切相关,二者之差可作为衡量土壤涵蓄

降水量的能力<sup>[15]</sup>,研究发现尽管人工兴安落叶松林具有较大的最大持水量,但由于其自然持水量也较大,因此其涵蓄降水量最小,仅为 76.32,而其他植被类型的涵蓄降水量能力均较高,为 165.98~197.37 mm;另外,该区土壤最大持水量中以毛管持水量为主,因此也可用毛管持水量与土壤前期自然含水量之差来反映土壤的蓄水能力,称其为有效涵蓄量<sup>[14]</sup>,各植被类型有效涵蓄降水量情况与土壤涵蓄降水量一致。

3.3 土壤渗透特征分析

土壤渗透特征是土壤水文生态功能的重要体现,其下渗能力特别是表层土壤影响着地表径流的产生与否。由表 4 可见,各植被类型的土壤初渗速率和稳渗速率最大值一般在 0—10 cm 或 10—20 cm 土层,其平均值分别为 11.92 mm/min 和 2.78 mm/min,而最小值在不同的植被类型下出现的土层不同,其平均值为 2.19 mm/min 和 0.66 mm/min。从表层 0—10 cm 土壤看,最大初渗速率为 3.90~15.6 mm/min,稳渗速率为 0.44~2.87 mm/min,其稳渗速率大小顺序为臭冷杉林>白桦林>红松林 I >针阔混交林>红松林 II >兴安落叶松林。各植被类型 0~50 cm 的平均初渗速率以针阔混交林最大(10.35 mm/min),其次为臭冷杉林(7.07 mm/min)、红松林 I (6.67mm/min)、红松林II(6.40 mm/min)、人工兴安落叶松林(3.54 mm/min),白桦林最小(1.44 mm/min);平均稳渗速率以针阔混交林最大(2.80 mm/min),其次为臭冷杉林(1.52 mm/min)、白桦林(1.44 mm/min)、红松林I(1.42 mm/min)和红松林II(1.18 mm/min),人工兴安落叶松林最小(0.65 mm/min)。

表 4 不同植被类型样地土壤各土层的初渗速率和稳渗速率

植被类型	土层/cm	初渗速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )	稳渗速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )	达到稳渗 时间/min	平均初渗速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )	平均稳渗速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )
红松林 I	0—10	15.60	1.68	116	6.67	1.42
	10—20	9.36	1.84	91		
	20—30	3.64	0.91	86		
	30—40	1.56	0.92	66		
	40—50	3.64	1.73	66		
白桦林	0—10	8.06	2.72	86	3.04	1.44
	10—20	0.65	0.18	101		
	20—30	1.30	0.31	56		
	30—40	2.08	1.41	76		
	40—50	3.12	2.60	56		
臭冷杉林	0—10	11.70	2.87	166	7.07	1.52
	10—20	8.58	1.23	146		
	20—30	6.76	1.33	138		
	30—40	6.50	1.43	116		
	40—50	1.82	0.72	56		

续表 4

植被类型	土层/cm	初渗速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )	稳渗速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )	达到稳渗 时间/min	平均初渗速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )	平均稳渗速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )
针阔混交林	0—10	11.44	1.56	166	10.35	2.80
	10—20	15.08	3.99	116		
	20—30	5.72	2.64	156		
	30—40	11.96	3.07	171		
	40—50	7.54	2.76	106		
兴安落叶松林	0—10	3.90	0.44	66	3.54	0.65
	10—20	6.50	1.81	76		
	20—30	2.60	0.55	46		
	30—40	1.56	0.23	91		
	40—50	3.12	0.20	56		
红松林Ⅱ	0—10	14.56	0.84	126	6.40	1.18
	10—20	8.32	3.41	116		
	20—30	4.42	0.42	116		
	30—40	2.86	0.52	91		
	40—50	1.82	0.70	106		

Kostiakov 方程、Horton 方程和 Philip 方程是 3 个概念较为明确且可靠的土壤水分入渗模型,通过实测数据模拟了各植被类型下不同土壤层次的入渗过程。表 5 中结果表明:Kostiakov 方程中的参数  $a$  一般变化在 0.57~19.78 之间,平均为 6.13,受土壤密度、孔隙度等的影响,反映了土壤初渗速率的变化情况,而  $b$  值反映了渗透速率变化的快慢,其变动范围为 0.04~0.57,平均为 0.28;Horton 方程中, $f_0$  和  $f_c$  是通过给定初始值迭代拟合的初渗速率和稳渗速率,其值符合实测值(二者的相关系数  $R$  分别为 0.82

和 0.98), $\beta$  反映了渗透速率变化的情况,该值介于 0.02~3.98 之间,平均 0.50;在 Philip 方程中, $S$  表明了土壤含水量和孔隙度对入渗速率的影响,而  $A$  值表示稳渗速率的情况,二者的取值范围分别为 0.81~30.82 和 0.01~3.34,平均值分别为 10.23 和 1.25,其中  $A$  值与实测的稳渗速率相关系数可达 0.93。比 Philip 方程和 Kostiakov 方程的模拟精度略高,且 Horton 方程中各参数具有明确的物理意义,因此在该区进一步的水文过程模拟中可选择 Horton 方程模拟土壤水分渗透速率。

表 5 不同植被类型典型样地土壤层次的渗透速率拟合参数

植被类型	土层/cm	Kostiakov 方程			Horton 方程				Philip 方程		
		$a$	$b$	$R^2$	$f_0$	$f_c$	$\beta$	$R^2$	$S$	$A$	$R^2$
红松林Ⅰ	0—10	17.59	0.44	0.96	15.31	2.25	0.11	0.92	30.82	0.90	0.98
	10—20	9.31	0.32	0.88	10.82	2.18	0.77	0.90	17.24	1.33	0.93
	20—30	3.95	0.29	0.91	3.74	0.99	0.09	0.92	6.79	0.72	0.89
	30—40	1.56	0.11	0.86	1.64	0.93	0.10	0.88	1.65	0.87	0.85
	40—50	4.07	0.20	0.72	11.71	1.76	0.28	0.97	10.24	1.11	0.81
白桦林	0—10	5.31	0.16	0.67	13.92	2.75	0.77	0.97	10.23	1.95	0.85
	10—20	0.57	0.22	0.82	0.70	0.23	0.21	0.85	0.81	0.21	0.62
	20—30	1.06	0.29	0.85	1.49	0.33	0.27	0.87	2.13	0.18	0.94
	30—40	1.77	0.05	0.46	3.08	1.46	0.96	0.81	1.16	1.37	0.66
	40—50	3.00	0.04	0.51	3.54	2.60	3.98	0.41	1.26	2.47	0.54
臭冷杉	0—10	13.95	0.27	0.90	10.01	2.98	0.02	0.95	19.44	3.34	0.81
	10—20	7.68	0.35	0.97	10.37	1.61	0.23	0.97	15.98	0.72	0.98
	20—30	9.38	0.25	0.95	12.37	1.41	0.63	0.97	10.98	0.92	0.97
	30—40	4.12	0.21	0.78	12.51	1.71	0.81	0.95	9.00	1.08	0.86
	40—50	1.46	0.18	0.68	2.71	0.76	0.62	0.85	2.28	0.56	0.85
针阔混交林	0—10	11.64	0.35	0.92	13.13	2.37	0.18	0.93	21.66	1.28	0.95
	10—20	10.62	0.19	0.87	28.14	4.60	0.81	0.89	20.28	3.28	0.89
	20—30	6.09	0.15	0.95	2.20	2.74	0.02	0.93	7.07	2.76	0.83
	30—40	10.72	0.21	0.93	13.63	4.24	0.24	0.87	17.53	3.22	0.95
	40—50	6.20	0.17	0.90	9.71	3.13	0.42	0.92	9.48	2.46	0.95

续表 5

植被类型	土层/cm	Kostiakov 方程			Horton 方程				Philip 方程		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>f</i> <sub>0</sub>	<i>f</i> <sub><i>c</i></sub>	<i>β</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
兴安落叶松林	0—10	2.88	0.39	0.92	5.23	0.52	0.34	0.97	7.09	0.10	0.96
	10—20	8.41	0.31	0.90	7.61	1.95	0.07	0.86	14.00	1.45	0.75
	20—30	2.12	0.30	0.59	8.68	0.61	0.75	0.97	7.03	0.13	0.84
	30—40	1.47	0.38	0.88	1.93	0.32	0.27	0.85	2.88	0.13	0.91
	40—50	2.74	0.54	0.67	6.28	0.45	0.79	0.84	5.53	0.01	0.84
红松林Ⅱ	0—10	19.78	0.57	0.90	11.59	1.43	0.06	0.90	29.20	0.29	0.95
	10—20	7.38	0.15	0.86	8.14	3.74	0.13	0.80	9.62	3.28	0.75
	20—30	4.30	0.44	0.97	5.12	0.68	0.25	0.91	8.23	0.18	0.98
	30—40	2.67	0.33	0.94	3.24	0.69	0.24	0.84	4.86	0.39	0.94
	40—50	1.99	0.20	0.88	1.66	0.72	0.57	0.90	2.56	0.72	0.79

4 结 论

(1) 在小兴安岭南麓,土壤容重介于 0.45~1.52 g/cm<sup>3</sup> 之间,0—20 cm 土层较疏松,大于 20 cm 土层较紧实;土壤总孔隙度为 43.73%~79.21%,毛管孔隙度为 38.45%~72.27%,非毛管孔隙度为 1.48%~20.96%,其中,白桦林的总孔隙度和毛管孔隙度最小,其他林分之间差异不大;人工兴安落叶松林的非毛管孔隙度最小,原始红松林Ⅰ最大。

(2) 土壤的饱和含水率、毛管含水率和自然含水率分别介于 28.73%~177.32%,25.26%~156.84% 和 13.91%~119.18%之间,随着土层加厚,三者明显减小。各植被类型最大持水量为 282.88~341.41 mm,以人工兴安落叶松林最大,白桦林最小,其他林分差异不大;有效持水量 27.88~61.13 mm,以红松林Ⅰ最大,人工兴安落叶松林的最小,其他差异不大;除人工兴安落叶松林的涵蓄降水量为 76.32 mm 以外,其他植被类型的均较高为 165.98~197.37 mm。

(3) 各植被类型 0—50 cm 的平均初渗速率介于 1.44~10.35 mm/min 之间,稳渗速率为 0.65~2.8 mm/min;Kostiakov 方程、Horton 方程和 Philip 方程均可模拟各植被类型的土壤入渗过程,但 Horton 方程模拟效果更好。

参考文献:

[1] 潘春翔,李裕元,彭亿,等. 湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能[J]. 生态学报,2012,32(2): 538-547.

[2] 张彪,杨艳刚,张灿强. 太湖地区森林生态系统的水源涵养功能特征[J]. 水土保持研究,2010,17(5):96-101.

[3] 白晋华,胡振华,郭晋平. 华北山地次生林典型森林类型

枯落物及土壤水文效应研究[J]. 水土保持学报,2009, 23(2):84-89.

[4] 赵同谦,欧阳志云,郑华,等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报,2004,19(4):480-491.

[5] 余新晓,鲁绍伟,靳芳. 中国森林生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报,2005,25(8):2096-2102.

[6] 耿佳,于法展,杨盼盼,等. 苏北山丘区典型性次生林下土壤蓄水能力分析[J]. 水土保持研究,2012,19(1):184-187.

[7] 徐丽宏,王彦辉,熊伟,等. 六盘山典型植被类型土壤水文生态功能研究[J]. 林业科学研究,2012,25(4):456-463.

[8] 温远光,刘世荣. 我国主要森林生态系统类型降水截留规律的数量分析[J]. 林业科学,1995,31(4):289-298.

[9] 石培礼,吴波,程根伟,等. 长江上游地区主要森林植被类型蓄水能力的初步研究[J]. 自然资源学报,2004,19(3):351-360.

[10] 张志永,张卓文,陈玉生,等. 5 种主要森林类型涵养水源能力比较研究[J]. 福建林学院学报,2005,25(2): 171-175.

[11] 刘霞,张光灿,李雪蕾,等. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征[J]. 水土保持学报, 2004,22(2):111-115.

[12] 鲁绍伟,陈波,潘青. 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):54-59.

[13] 刘林馨,刘传照,毛子军. 丰林世界生物圈自然保护区森林生态系统服务功能价值评估[J]. 北京林业大学学报,2011,33(3):38-44.

[14] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1994.

[15] 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.