

冀北山地森林土壤水文效应研究

赵建生¹, 王永明², 杨新兵²

(1. 承德县北大山林场, 河北 承德 067405; 2. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000)

摘 要: 森林土壤水文效应是森林生态水文功能的基础。从森林土壤的容重、孔隙度、持水能力和入渗能力等方面, 研究了冀北山地 6 种典型森林的土壤水文效应。结果表明: 土壤容重方面, 落叶松纯林最大(1.21 g/cm^3), 白桦纯林最小(1.00 g/cm^3); 土壤孔隙度方面, 白桦纯林总孔隙度最大(50.75%), 油松蒙古栎混交林总孔隙度最小(42.58%); 土壤持水能力方面, 油松纯林的有效持水量最大(241.00 t/hm^2), 落叶松纯林的最小(57.75 t/hm^2)。土壤入渗能力方面, 油松纯林的稳渗速率最大(15.00 mm/min), 落叶松纯林的稳渗速率最小(0.68 mm/min)。

关键词: 森林水文; 土壤水文; 土壤入渗; 冀北山地

中图分类号: S715

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)03-0201-05

Hydrological Effects of Forest Soil in Mountain Area of Northern Hebei

ZHAO Jian-sheng¹, WANG Yong-ming², YANG Xin-bing²

(1. Beidashan Forest Farm of Hebei Province, Chengde, Hebei 067405, China;

2. College of Forest, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: Hydrological effects of forest soil are the foundation of the ecological and hydrological functions of forest. The hydrological effects of forest soil were studied based on soil bulk density, porosity, soil water holding capacity and infiltration capacity in six typical forest types of the mountain area, Northern Hebei, China. The result showed that the highest and lowest mean bulk densities were 1.21 g/cm^3 and 1.00 g/cm^3 in soils of *Larix principis-rupprechtii* pure forest and *Betula platyphylla* pure forest, respectively; the highest and lowest total porosity values were 50.75% and 42.58% in soils of *B. platyphylla* pure forest and *Pinus tabulaeformis-Quercus mongolica* mixed forest, respectively. The soil water holding capacity of *P. tabulaeformis* pure forest was the most powerful and amounted to 241.00 t/hm^2 , and *L. principis-rupprechtii* pure forest was the worst and the value was 57.75 t/hm^2 . As for soil infiltration capacity, the highest and lowest steady infiltration rates were 15.00 mm/min and 0.68 mm/min in soils of *P. tabulaeformis* pure forest and *L. principis-rupprechtii* pure forest, respectively.

Key words: forest hydrology; soil hydrology; infiltration; mountain area of Northern Hebei

森林土壤是森林发挥水文调节作用的主要场所, 森林土壤水文物理性质是森林生态水文功能的基础。森林土壤的水文效应, 常因森林土壤类型的不同而不同, 森林土壤的物理性质对土壤的水文效应具有极其显著的影响^[1-4]。渗透能力和持水能力是森林土壤水文效应的两个十分重要的方面, 这二者主要取决于土壤孔隙的数量和大小组成。另外, 森林水源涵养能力表现为林冠截持降水量、枯落物持水量、林地土壤蓄

水量三者之和, 但是森林地上部分的持水量通常仅占林分水源涵养能力的 15% 以下, 而森林土壤则是森林涵养水源的主体^[5-11]。为了摸清冀北山区森林的土壤水文效应, 本文对冀北山区 6 种典型森林类型的土壤水分物理性质、土壤入渗能力和持水能力的差异性进行研究, 以期为该区域森林水源涵养功能和效益的研究提供基础数据, 实现冀北山区为京津地区防风沙、保水源、增资源提供保障。

1 研究区概况

研究区位于河北省承德市围场县木兰林管局,地理坐标为北纬 41°56′—42°15′,东经 117°44′—118°09′。该地区属典型的冀北山地,地质构造属于河北省地质构造 4 个区中的内蒙古台背斜区,区内山峦起伏、沟壑纵横,海拔高度约为 750~1 829 m。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。年降水量为 400~500 mm,主要集中在 7—9 月,年蒸发量 1 462~1 556 mm。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(*Larix principic-*

rupprecht)、黑桦(*Betula dahurica*)、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)和蒙古栎(*Quercus mongolica*)等。

2 研究方法

试验设在河北省围场县木兰林管局,选择落叶松桦木混交林、油松蒙古栎混交林、落叶松纯林、白桦纯林、油松纯林、蒙古栎纯林 6 种典型森林类型作为研究对象。在各个森林类型样地中挖取 6 个土壤剖面,分层采集(0—10,10—20,20—40,40—60 cm)各层土壤,并详细记录剖面信息。土壤容重、孔隙度、持水能力指标的测定均采用环刀法,土壤入渗采用双环法^[8]。样地基本情况见表 1。

表 1 样地基本情况

编号	林分类型	面积/m×m	起源	海拔/m	坡度/(°)	郁闭度	林层结构
1	落叶松桦木混交林	30×30	人工林	1200	28	0.8	单层
2	油松蒙古栎混交林	30×30	天然林	1200	35	0.7	复层
3	落叶松纯林	30×30	人工林	1210	17	0.9	复层
4	白桦纯林	30×30	天然林	1220	17	0.6	单层
5	油松纯林	30×30	天然林	1280	30	0.6	单层
6	蒙古栎纯林	30×30	天然林	1230	25	0.8	单层

注:本文中的落叶松均为华北落叶松。

3 结果与分析

3.1 土壤容重和孔隙度

土壤容重和孔隙度是反映土壤物理性质的重要参数,容重反映土壤透水性、通气性和根系延展时阻力的大小,对土壤的透气性、入渗性能、持水能力、溶质迁移特征以及土壤的抗侵蚀能力都有非常大的影响。孔隙度则是土壤中养分、水分、空气和微生物等的迁移通道,贮存库和活动场所^[8]。土壤孔隙度是土壤健康的主要物理性质之一,土壤孔隙的组成直接影响土壤通气透水性和根系穿插的难易程度,并且对土壤水、肥、气、热和微生物活性等发挥着不同的调节功能^[12]。非毛管孔隙度的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^[10]。

由图 1 可知:6 种林分类型的土壤容重在垂直方向上的变化规律相同,即土层越深容重越大。表层土壤容重以白桦纯林最小,落叶松纯林最大。在 0—60 cm 土层范围内,各林分类型土壤容重的大小顺序为:落叶松纯林(1.21 g/cm³)>蒙古栎纯林(1.17 g/cm³)>油松蒙古栎混交林(1.16 g/cm³)>落叶松桦木混交林(1.14 g/cm³)>油松纯林(1.11 g/cm³)>白桦纯林(1.00 g/cm³)。

在 0—60 cm 土层范围内,各林分类型土壤非毛管

孔隙度的大小顺序为:蒙古栎纯林(9.60%)>油松纯林(9.03%)>落叶松桦木混交林(6.93%)>油松蒙古栎混交林(5.75%)>落叶松纯林(4.40%)>白桦纯林(3.65%)。土壤的非毛管孔隙度越大,通透性越好,有利于降水下渗,减少地表径流,能够起到良好的水源涵养作用。毛管孔隙度的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。在 0—60 cm 土层范围内,各类型林分分层土壤毛管孔隙度均值大小顺序为:白桦纯林(47.10%)>落叶松纯林(39.88%)>油松蒙古栎混交林(36.83%)>落叶松桦木混交林(36.43%)>油松纯林(35.08%)>蒙古栎纯林(34.80%)。各类型林分分层土壤总孔隙度均值大小顺序为:白桦纯林(50.75%)>蒙古栎纯林(44.40%)>落叶松纯林(44.28%)>油松纯林(49.10%)>落叶松桦木混交林(43.35%)>油松蒙古栎混交林(42.58%)(表 2)。

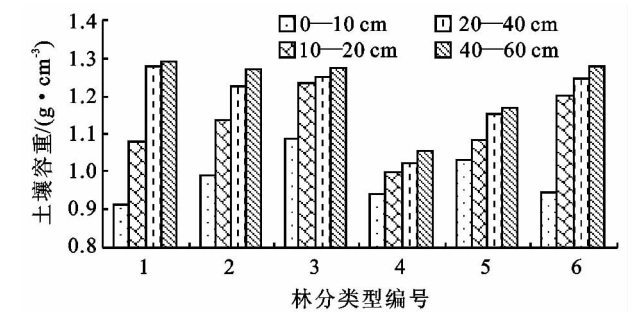


图 1 不同林分类型土壤容重

表 2 不同林分类型土壤孔隙度							%
指标	土层深度/cm	落叶松桦木混交林	油松蒙古栎混交林	落叶松纯林	白桦纯林	油松纯林	蒙古栎纯林
非毛管孔隙度	0—10	10.80	6.60	6.70	2.90	12.00	15.10
	10—20	8.50	9.80	5.40	2.90	3.80	13.20
	20—40	4.30	3.10	3.60	5.20	9.10	5.90
	40—60	4.10	3.50	1.90	3.60	11.20	4.20
毛管孔隙度	0—10	30.80	30.40	39.50	41.10	35.00	38.50
	10—20	28.10	33.30	40.40	46.00	41.60	39.20
	20—40	41.80	40.70	40.10	54.90	34.80	21.40
	40—60	45.00	42.90	39.50	46.40	28.90	40.10
总孔隙度	0—10	41.60	37.00	46.20	44.00	47.00	53.60
	10—20	36.60	43.10	45.80	48.90	45.40	52.40
	20—40	46.10	43.80	43.70	60.10	43.90	27.30
	40—60	49.10	46.40	41.40	50.00	40.10	44.30

3.2 土壤持水能力

林地土壤是森林生态系统贮蓄水分的主要容库,评价其蓄水性能一般以总持水量、毛管持水量、非毛管持水量为指标。其中土壤总持水量是毛管与非毛管持水量之和,反映了土壤贮蓄和调节水分的潜在能力,它是土壤涵蓄潜力的最大值;土壤非毛管蓄水量又称涵养水源量,反映了土壤迅速容纳降雨径流和调节水分的能力^[12]。最大持水量是指土壤中所有孔隙

都充满水时的含水量。它代表着土壤最大的容水能力。最大持水量是毛管水 and 非毛管水均达到饱和时土壤的持水量,其中毛管水供植物根系吸收和林地蒸发,只做上下垂直运动。各林分类型土壤最大持水量均值大小顺序为:白桦纯林(782.75 t/hm²)>油松纯林(751 t/hm²)>落叶松桦木混交林(671.5 t/hm²)>(655.5 t/hm²)>油松蒙古栎混交林(651.25 t/hm²)>蒙古栎纯林(623 t/hm²)(表 3)。

表 3 不同林分类型土壤持水量							t/hm ²
指 标	土层深度/cm	落叶松桦木混交林	油松蒙古栎混交林	落叶松纯林	白桦纯林	油松纯林	蒙古栎纯林
毛管持水量	0—10	308.00	304.00	395.00	411.00	350.00	385.00
	10—20	281.00	333.00	404.00	460.00	416.00	392.00
	20—40	836.00	814.00	802.00	1098.00	696.00	428.00
	40—60	900.00	858.00	790.00	928.00	578.00	802.00
	均值	581.25	577.25	597.75	724.25	510.00	501.75
最大持水量	0—10	416.00	370.00	462.00	440.00	470.00	536.00
	10—20	366.00	431.00	458.00	489.00	454.00	524.00
	20—40	922.00	876.00	874.00	1202.00	878.00	546.00
	40—60	982.00	928.00	828.00	1000.00	1202.00	886.00
	均值	671.50	651.25	655.50	782.75	751.00	623.00
田间持水量	0—10	301.00	287.00	345.00	387.00	309.00	380.00
	10—20	276.00	317.00	372.00	436.00	330.00	383.00
	20—40	790.00	740.00	726.00	1004.00	658.00	394.00
	40—60	850.00	814.00	752.00	892.00	464.00	696.00
	均值	554.25	539.50	548.75	679.75	440.25	463.25
有效持水量	0—10	108.00	66.00	67.00	29.00	120.00	151.00
	10—20	85.00	98.00	54.00	29.00	38.00	132.00
	20—40	86.00	62.00	72.00	104.00	182.00	118.00
	40—60	82.00	70.00	38.00	72.00	624.00	84.00
	均值	90.25	74.00	57.75	58.50	241.00	121.25

毛管持水量是指在水源无限供给的情况下,借助于毛管引力保持在土壤中的最大含水量。毛管持水

量一般较田间持水量高,同样是植物可以利用的有效水分。各林分类型土壤毛管持水量均值大小顺序为:

白桦纯林(679.75 t/hm²)>落叶松桦木混交林(554.25 t/hm²)>落叶松纯林(548.75 t/hm²)>油松蒙古栎混交林(539.50 t/hm²)>蒙古栎纯林(463.25 t/hm²)>油松纯林(440.25 t/hm²)。

田间持水量是指自然条件下,土壤排除重力水后所能保持的最大含水量,即土壤中所有的毛细管都充满水时的含水量。各林分类型土壤田间持水量均值大小顺序为:白桦纯林(724.25t/hm²)>落叶松纯林(597.75 t/hm²)>落叶松桦木混交林(581.25 t/hm²)>油松蒙古栎混交林(577.25 t/hm²)>油松纯林(510.00 t/hm²)>蒙古栎纯林(501.75 t/hm²)。

土壤有效持水量是某种状态的土壤抵抗重力所能吸持的最大水量。各森林类型土壤有效持水量均值大小顺序为:油松纯林(241.00 t/hm²)>蒙古栎纯林(121.25 t/hm²)>落叶松桦木混交林(90.25 t/hm²)>油松蒙古栎混交林(74.00 t/hm²)>白桦纯林(58.50 t/hm²)>落叶松纯林(57.75 t/hm²)(表 3)。

3.3 土壤水分入渗能力

林地土壤入渗过程不仅是森林生态系统水分循环的重要环节,同时在林地发挥调配降雨、保持水土的过程中有着重要作用^[9],而土壤水分入渗速率与土壤质地、结构、孔隙度、有机质含量和土壤湿度有关,是反映土壤涵养水源功能的重要参数^[13]。入渗速率高的土壤,可以保证较多的降水渗入土壤中贮存,或形成壤中流、地下径流,减少了地表径流损失。6 种林分类型土壤初渗速率明显大于稳渗速率,且 6 种林分类型之间土壤初渗速率相差较大,这主要与测定时土壤含水量有关。土壤入渗速率与时间呈幂函数关系,随着时间的延长,入渗速率趋于稳定入渗(表 4、图 2)。土壤稳渗速率的大小顺序为油松纯林(15.00 mm/min)>桦木纯林(4.23 mm/min)>落叶松桦木混交林(1.80 mm/min)>油松蒙古栎混交林(1.17 mm/min)>蒙古栎纯林(0.84 mm/min)>落叶松纯林(0.68 mm/min)。

表 4 不同林分土壤渗透速率及渗透模型

林分类型	初渗速率/ (mm·min ⁻¹)	稳渗速率/ (mm·min ⁻¹)	回归方程	相关系数(R ²)
落叶松桦木混交林	16.90	1.80	$y=9.3553x^{-0.8159}$	0.6559
油松蒙古栎混交林	9.73	1.17	$y=9.0664x^{-0.827}$	0.8549
落叶松纯林	14.00	0.68	$y=6.428x^{-0.7671}$	0.8427
桦木纯林	105.88	4.23	$y=89.099x^{-0.9584}$	0.9021
油松纯林	100.00	15.00	$y=40.751x^{-0.318}$	0.6113
蒙古栎纯林	31.03	0.84	$y=11.345x^{-0.7458}$	0.6959

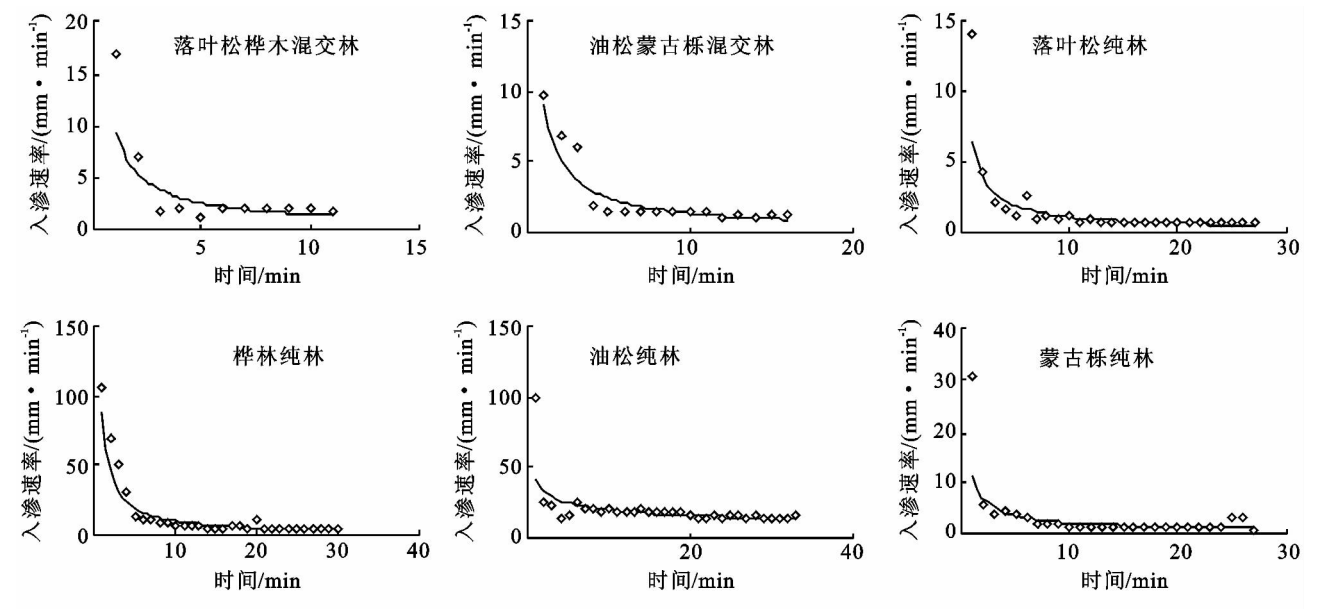


图 2 6 种林分类型土壤入渗曲线

4 结论

(1) 6 种林分类型的土壤容重在垂直方向上的变化规律相同,即土层越深容重越大。表层土壤容重以

落叶松纯林最大(1.21 g/cm³),白桦纯林最小(1.00 g/cm³)。这是因为阔叶相对于针叶易于分解,能够有效改良土壤结构,土壤腐殖质层较厚,土壤结构疏松,孔隙度增加,故容重相对较小。

(2) 在 0—60 cm 土层范围内,土壤非毛管孔隙度蒙古栎纯林最大,白桦纯林最小;毛管孔隙度白桦纯林最大,蒙古栎纯林最小;土壤总孔隙度白桦纯林最大,油松蒙古栎混交林最小。

(3) 土壤最大持水量白桦纯林最大,蒙古栎纯林最小;土壤毛管持水量白桦纯林最大,油松纯林最小;土壤田间持水量白桦纯林最大,蒙古栎纯林最小;土壤有效持水量油松纯林最大,落叶松纯林最小。

(4) 6 种森林类型土壤的稳渗速率的大小顺序为:油松纯林>桦木纯林>落叶松桦木混交林>油松蒙古栎混交林>蒙古栎纯林>落叶松纯林。

参考文献:

[1] 张雷燕,刘常富,王彦辉,等.宁夏六盘山地区不同森林类型土壤的蓄水和渗透能力比较[J].水土保持学报,2007,21(1):95-98.

[2] 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.

[3] 张光灿,夏江宝,王贵霞,等.鲁中花岗岩山区人工林土壤水分物理性质[J].水土保持学报,2005,19(6):44-48.

[4] 李德生,张萍,张水龙,等.黄前库区经济林土壤水文效益研究[J].水土保持研究,2004,11(1):141-143.

[5] 郑郁善,郭海涛,徐凤兰,等.福建含笑杉木混交林水源涵养功能差异研究[J].福建林学院学报,1997,17(2):126-130.

[6] 王光玉.杉木混交林水源涵养和土壤性质研究[J].林业科学,2003,39(S1):15-20.

[7] 邓艳,蒋忠诚,李先琨,等.广西弄岗不同演替阶段植被群落的小气候特征[J].热带地理,2004,24(4):364-367.

[8] 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):221-226.

[9] 李军,田超,杨新兵.河北省木兰林管局典型森林类型枯落物水文效应研究[J].水土保持研究,2011,18(4):192-196.

[10] 李淑春,张伟,姚卫星,等.冀北山地不同林分类型林冠层降水分配研究[J].水土保持研究,2011,18(5):124-127.

[11] 潘明亮,访军,谭伟,等.贵州西部四种典型林地土壤水文特性研究[J].水土保持研究,2011,18(5):139-143.

[12] 黄进,杨会,张金池.桐庐生态公益林主要林分类型的土壤水文效应[J].生态环境学报,2009,18(3):1094-1099.

[13] 刘敏,王玉杰,赵洋毅,等.重庆缙云山水源涵养林地土壤水文效应[J].中国水土保持,2010(5):41-44.

(上接第 200 页)

[9] 李毅,屈建军,董治宝,等.中国荒漠区的生物多样性[J].水土保持研究,2008,15(4):79-81.

[10] 唐志尧,方精云.植物物种多样性的垂直分布格局[J].生物多样性,2004,12(1):20-28.

[11] 李镇清.中国东北样带(NECT)植物群落复杂性与多样性研究[J].植物学报,2000,42(9):971-978.

[12] 郭树江,徐先英,杨自辉,等.干旱荒漠区沙冬青茎干液流变化特征及其与气象因子的关系[J].西北植物学报,2011,31(5):1003-1010.

[13] 宁德年,马廷选,王天河,等.腾格里沙漠南缘荒漠霸王群落演替特征[J].草业科学,2012,29(7):1148-1152.

[14] 赵艳云,田家怡,孙景宽,等.滨州北部贝沙堤生物多样

性现状及影响因素的研究[J].水土保持研究,2010,17(2):136-140.

[15] 尉秋实,王继和,李昌龙,等.不同生境条件下沙冬青种群分布格局与特征的初步研究[J].植物生态学报,2005,29(4):591-598.

[16] 郑元润.不同方法在沙地云杉种群分布格局分析中的适用性研究[J].植物生态学报,1997,21(5):480-484.

[17] 李昌龙,王继和,孙坤,等.民勤连古城自然保护区群落结构和物种多样性特征分析[J].西北植物学报,2006,26(11):2338-2344.

[18] 谭勇,潘伯荣,段士民,等.中国沙拐枣属天然群落特征及其物种多样性研究[J].西北植物学报,2008,28(5):1049-1055.