

# 冀北山地6种林分类型土壤水分—物理性质变化

王颖<sup>1</sup>, 杨新兵<sup>2</sup>

(1. 河北环境工程学院, 河北 秦皇岛 066004; 2. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000)

**摘要:**为改善冀北山地林地生态功能,提高该地区森林涵养水源的能力,选取冀北山地6种典型林分为研究对象,采用环刀法对土壤物理性质进行了分析比较。结果表明:(1)土壤容重与土层深度呈正相关,土壤容重均值排序为:华北落叶松林(1.20 g/cm<sup>3</sup>)>蒙古栎林(1.14 g/cm<sup>3</sup>)>油松林(1.12 g/cm<sup>3</sup>)>黑桦林(1.03 g/cm<sup>3</sup>)>白桦林(0.98 g/cm<sup>3</sup>)>山杨林(0.81 g/cm<sup>3</sup>);(2)土壤总孔隙度与土层深度呈负相关,土壤总孔隙度均值排序为:山杨林(57.6%)>白桦林(51.4%)>黑桦林(51.1%)>油松林(49.1%)>华北落叶松林(45.9%)>蒙古栎林(44.8%);土壤毛管孔隙度均值山杨林最大(48.9%),油松林最小(35.1%);非毛管孔隙度均值为油松林最大(14.0%),白桦林最小(3.6%);(3)土壤持水量与土层深度之间存在负相关关系,土壤最大持水量均值为山杨林最大,华北落叶松林最小;(4)土壤入渗速率与入渗时间呈明显幂函数关系,稳渗速率油松林最大(15.00 mm/min),华北落叶松林最小(0.68 mm/min)。研究结果可为森林土壤资源可持续利用提供依据。

**关键词:**冀北山地;林分类型;土壤水分—物理性质;土壤入渗

中图分类号:S714.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)03-0108-05

## Soil Water-Physical Properties of Six Forest Types in Northern Mountain of Hebei Province

WANG Ying<sup>1</sup>, YANG Xinbing<sup>2</sup>

(1. Hebei University of Environmental Engineering, Qinhuangdao, Hebei 066004, China;

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

**Abstract:** In order to make better the ecological function of mountain forest land and improve the ability of forest water conservation in this area, six typical forest stands in Northern Mountain of Hebei Province were selected as the research samples. Meanwhile the author analyzed and compared the soil physical properties by ring knife method. The results showed that: (1) the soil bulk density was positively correlated with soil depth, soil bulk density average decreased in the order: *Larix principis-rupprechtii* forest (1.20 g/cm<sup>3</sup>)>*Quercus mongolica* forest (1.14 g/cm<sup>3</sup>)>*Pinus tabulaeformis* forest (1.12 g/cm<sup>3</sup>)>*Betula davurica* forest (1.03 g/cm<sup>3</sup>)>*Betula platyphylla* forest (0.98 g/cm<sup>3</sup>)>*Populus davidiana* forest (0.81 g/cm<sup>3</sup>); (2) the total soil porosity was negatively correlated with soil depth and the average order of total porosity was: *Populus davidiana* forest (57.6%)>*Betula platyphylla* forest (51.4%)>*Betula davurica* forest (51.1%)>*Pinus tabulaeformis* forest (49.1%)>*Larix gmelinii-rupprechtii* forest (45.9%)>*Quercus mongolica* forest (44.8%); *Populus davidiana* forest's average soil capillary porosity was maximum (48.9%), *Pinus tabulaeformis* forest was minimum (35.1%); The maximum non-capillary porosity averages was *Pinus tabulaeformis* forest (14.0%), the minimum was *Betula platyphylla* forest (3.6%); (3) there was a negative correlation between soil moisture and soil depth, The maximum water holding capacity of the soil was *Populus davidiana* forest and the smallest is *Larix gmelinii-rupprechtii* forest; (4) the relationship between soil infiltration rate and infiltration time followed the power function. The largest steady infiltration rate was *Pinus tabulaeformis* forest (15.00 mm/min) and the minimum was *Larix gmelinii-rupprechtii* forest (0.68 mm/min). The research results can provide the basis for sustainable utilization of forest soil resources.

收稿日期:2016-05-20

修回日期:2016-06-13

资助项目:河北省林业厅科技项目“冀北山区森林生态系统健康评价技术研究”(1403451);林业公益性行业科研专项子课题“冀北山区典型森林生态系统健康经营技术与示范”(200804022F)

第一作者:王颖(1977—),女,河北唐山人,硕士,副教授,主要从事园林生态学研究。E-mail:wangying0651@126.com

**Keywords:** Northern Mountain of Hebei Province; forest types; soil moisture-physical property; soil infiltration

在陆地生态系统中,土壤是最主要的水分存储和水文调节系统。土壤水分是陆地生态系统中最活跃和最有影响力的要素之一,在流域水量平衡乃至地区水文循环中占有重要地位<sup>[1]</sup>。土壤物理性质以及与其相适应的土壤中水分动态特征构成了土壤水分—物理性质,反映出土壤结构、养分状况和持水、保水、渗透能力,对土壤质量评价以及土壤水分传输研究具有指导意义。土壤水分—物理性质的好坏对涵养水源、保持水土和土壤与水分的关系有重要影响<sup>[2]</sup>。土壤是森林生态系统发挥水文调节作用的重要场所<sup>[3]</sup>,不同林分中树种的生物学特性、林分空间结构不尽相同,因此其土壤水文生态特征也差异显著<sup>[4]</sup>。冀北山地处在京津水源的上游区,其森林的水文作用更显得十分重要,因此研究冀北山地各林分类型土壤水分—物理性质具有重大意义<sup>[5]</sup>。本文以河北木兰围场 6 种不同林分类型土壤为研究对象,分析探讨不同林分类型的土壤水分—物理性质和土壤入渗差异,为冀北山地植被的恢复重建、森林的有效培育、科学营林等提供理论依据。

1 研究区概况

研究区域位于河北省木兰围场国有林场管理局,属阴山、大兴安岭、燕山余脉的汇接地带,地理坐标

为 41°35′—42°40′ N, 116°32′—117°14′ E, 海拔高度 750~1 998 m。该区属大陆性季风型高原山地气候,中温带向寒温带以及半干旱向半湿润过渡带,无霜期 67~128 d,主要表现为春季干旱多风,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥。年均降水量 380~560 mm,主要集中在 6—8 月份。年均气温 -1.4~4.7℃。土壤类型以棕壤、褐土和灰色森林土为主。主要树种有华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、山杨(*Populus davidilana*)、白桦(*Betula platyphylla*)、黑桦(*Betula dahurica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)等。

2 研究方法

考虑到冀北山地植被类型、土壤特性、土地利用等因素,在木兰围场国有林场局选取 6 种林分类型的样地作为研究对象,在每个林分类型样地内布设 30 m×30 m 的标准样地,并进行每木检尺。样地基本特征见表 1。选取代表性样点,采用剖面法在每块样地随机挖取 5 个土壤层剖面,按 0—10, 10—20, 20—40, 40—60, 60 cm 以下分别取土样,带回室内测定,其中土壤容重和土壤孔隙度应用环刀浸泡法,土壤持水量应用烘干法,土壤入渗应用野外样地内原状土双环法<sup>[6]</sup>。

表 1 林地基本特征信息

编号	林分类型	树种组成	平均树高/m	平均胸径/cm	海拔高度/m
1	华北落叶松林	8 落叶松 1 黑桦 1 蒙古栎	4.8	4.3	1210
2	山杨林	9 山杨 1 黑桦	9.3	8.3	1260
3	白桦林	8 白桦 2 落叶松	13.0	12.8	1100
4	油松林	8 油松 2 蒙古栎	8.0	14.6	1030
5	蒙古栎林	10 蒙古栎	7.7	17.6	1230
6	黑桦林	10 黑桦	6.7	10.0	1310

3 结果与分析

3.1 土壤容重变化

从图 1 可得,各林分类型土壤容重与土层深度基本呈正相关,但并不显著。土壤容重受土壤质地、土壤结构、土壤紧实度和有机质含量等影响,通常土壤容重小,土壤结构好且疏松多孔<sup>[7]</sup>,主要与土层深度增加、土壤中有机质含量降低、土壤变紧实相关。不同林地 0—60 cm 土壤容重均值介于 0.81~1.20 g/cm<sup>3</sup>,其排序为:华北落叶松林(1.20 g/cm<sup>3</sup>)>蒙古栎林(1.14 g/cm<sup>3</sup>)>油松林(1.12 g/cm<sup>3</sup>)>黑桦林(1.03 g/cm<sup>3</sup>)>白桦林(0.98 g/cm<sup>3</sup>)>山杨林(0.81 g/cm<sup>3</sup>),各林分土壤容重具有一定的差异,产生差异

的原因主要是不同植被的枯落物成分、分解情况以及地下根系的生长发育状况各不相同<sup>[8]</sup>,至此,山杨林土壤有机质含量高,疏松多孔,结构良好。

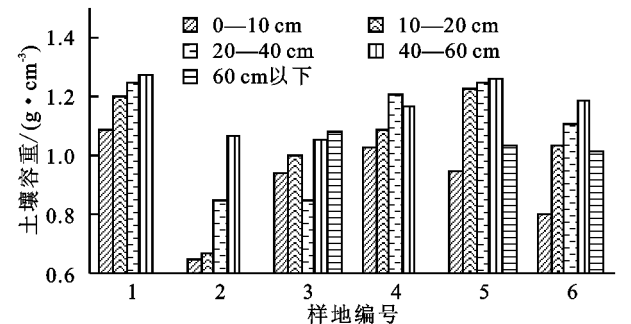


图 1 不同林分类型土壤容重变化  
土壤容重分级标准见表 2。表层土壤各个群落

的容重为 0.65~1.09 g/cm<sup>3</sup>,其中华北落叶松林最大(1.09 g/cm<sup>3</sup>),说明其林地表层土壤难于分解,腐殖质少,土壤动物、微生物数量少;山杨林最小(0.65 g/cm<sup>3</sup>),说明山杨林表层土壤有机质多、团聚结构好;各林地群落表层土壤紧实状况比较适宜。

表 2 土壤容重分级标准

序号	土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	土壤状况
1	<1.00	过松
2	1.00~1.25	适宜
3	1.25~1.35	偏紧
4	1.35~1.45	紧实
5	1.45~1.55	过紧实
6	>1.55	坚实

3.2 土壤孔隙度

土壤孔隙度在一定程度上反映了土壤的物理性质和涵养水源的能力,所以土壤的松紧程度,与土壤空气容量、土壤水分、结构、质地、有机质含量等有关。不同林分根系分布、枝叶凋落物成分等不同,其土壤理化性质也不同,因此不同植被土壤蓄水能力和调节水分的能力也不相同<sup>[9]</sup>。

3.2.1 土壤毛管孔隙度 土壤中最有效的水分是毛管孔隙中储存的水分,而有机质含量丰富的土壤中毛管孔隙也较多<sup>[10]</sup>。土壤毛管孔隙度是毛管孔隙容积占土壤容积的比例,是森林植被吸持水分并用于维持其生长发育能力的体现。由图 2 可见,在 0—60 cm 土层内,林地土壤毛管孔隙度均值依次为:山杨林(48.9%)>白桦林(47.8%)>黑桦林(42.4%)>华北落叶松林(40.8%)>蒙古栎林(35.2%)>油松林(35.1%)。土壤毛管孔隙度最大的是山杨林,而油松林最小。土壤毛管孔隙度大小关系到土壤中可用于林木正常蒸腾耗水和生长消耗水分的多少,即土壤中有效水的贮存量与林木耗水量呈正比关系,说明山杨林地树木生长所需有效水贮存量较大。

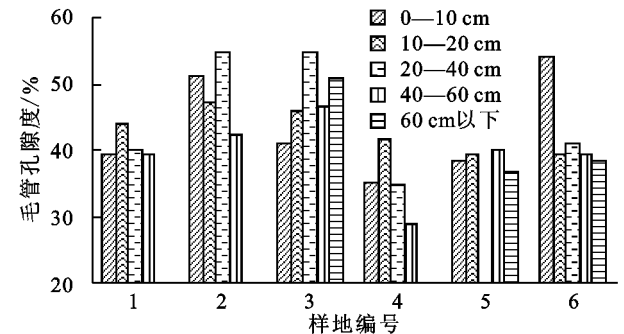


图 2 不同林分类型土壤毛管孔隙度变化

3.2.2 土壤非毛管孔隙度 土壤非毛管孔隙由微孔隙和空气孔隙组成。如图 3 所示,土壤非毛管孔隙度均值在 0—60 cm 土层内表现为:油松林(14.0%)>蒙古栎林(9.7%)>黑桦林(8.7%)=山杨林(8.7%)

>华北落叶松林(5.2%)>白桦林(3.6%)。非毛管孔隙是土壤重力水分运动的重要途径,主要对水分的调节和土壤的渗透能力产生影响<sup>[9]</sup>,具体表现为森林植被对水分滞留以及涵养水源、削减洪水能力的发挥<sup>[6]</sup>。非毛管孔隙度关系到大孔隙的多少,是水分入渗的主要孔隙,有利于降水下渗、固持土壤,减小径流,提高水源涵养功能<sup>[8]</sup>,因此油松林涵养水源的能力最强。

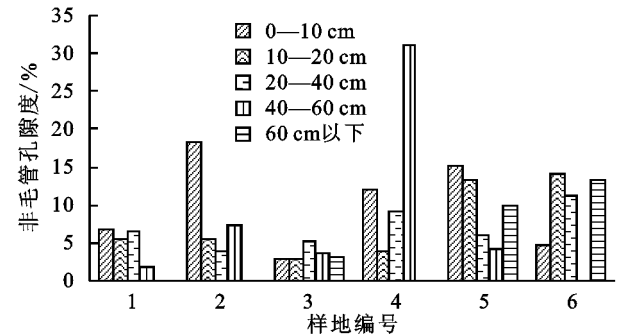


图 3 不同林分类型土壤非毛管孔隙度变化

3.2.3 土壤总孔隙度 土壤孔隙按大小及其作用分为毛管孔隙和非毛管孔隙<sup>[10]</sup>。大多数土壤总孔隙度介于 30%~60%,而最适合树木生长的则是稍大于或等于 50%。从图 4 可以看出,随着土层的加深土壤总孔隙度大致呈现出递减的趋势,土壤总孔隙度均值介于 44.8%~57.6%,其大小顺序为:山杨林(57.6%)>白桦林(51.4%)>黑桦林(51.1%)>油松林(49.1%)>华北落叶松林(45.9%)>蒙古栎林(44.8%),总孔隙度对土壤的蓄水能力有着重要的影响,所以山杨林土壤的蓄水能力最强。6 种林分类型表层土壤总孔隙度为 44.0%~69.5%,山杨林最大,黑桦林、蒙古栎林、油松林、华北落叶松林次之,白桦林最小,原因主要是林地表层枯落物分解腐烂快慢程度,土壤团粒结构的形成,土壤中植物根系分布、微生物的活动。

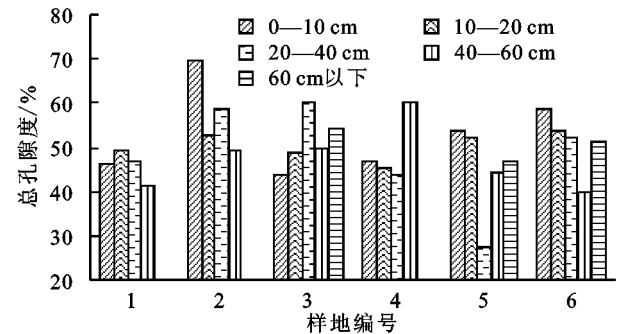


图 4 不同林分类型土壤总孔隙度变化

3.3 土壤持水量

通常,林地土壤持水量由最大持水量(饱和持水量)和有效持水量共同构成。土壤最大持水量是所有土壤孔隙全部饱和时土壤的含水量。毛管水上下垂

直运动,主要是供植物根系吸收和林地蒸发用,而非毛管水既可垂直渗透又可横向运动,多是通过重力从高处到低处沿着不透水层汇入湖泊、河流等,达到调节流量、稳定水位平衡的功能。

3.3.1 土壤田间持水量 土壤田间持水量与土壤孔隙状况和有机质含量相关。田间持水量是大多数植物可利用的土壤水上限,是决定植物有效水的最大值<sup>[10]</sup>。从图 5 可以看出,土壤田间持水量均值大小依次为:山杨林(60.2%)>白桦林(45.7%)>黑桦林(41.3%)>华北落叶松林(31.1%)>蒙古栎林(29.2%)>油松林(26.9%)。各林分在土层 0—10 cm 处土壤田间持水量最大,在土层 40—60 cm 处田间持水量最小,主要是由于土壤随着深度增加而变紧实,土壤孔隙减少,土壤田间持水量减小。山杨林的表层土壤田间持水量(75.0%)和平均田间持水量(60.2%)都最大,因此其有效水容量最大。

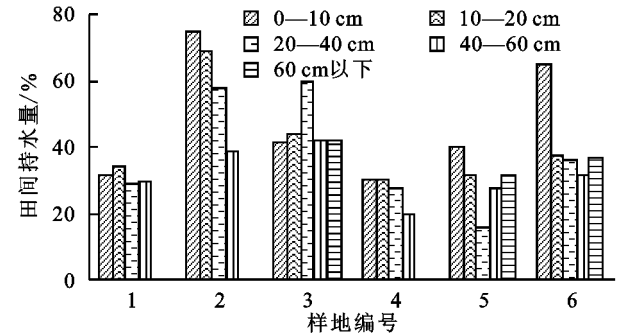


图 5 不同林分类型土壤田间持水量变化

3.3.2 土壤毛管持水量 毛管持水量也是有效水分,植物能够利用。一般情况下,毛管持水量比田间持水量高。如图 6 所示,各个林分类型的土壤毛管持水量均值为:山杨林(63.6%)>白桦林(49.1%)>黑桦林(42.7%)>华北落叶松林(35.0%)>油松林(31.5%)>蒙古栎林(31.4%)。各林地 在 0—10 cm 土层内毛管持水量最大,在 40—60 cm 土层内最小,这是因为表层土壤有机质含量高,毛管孔隙度大,相应的毛管持水量达到最大值;随着土层深度的增加,毛管孔隙度减小,相应的毛管持水量也减小。

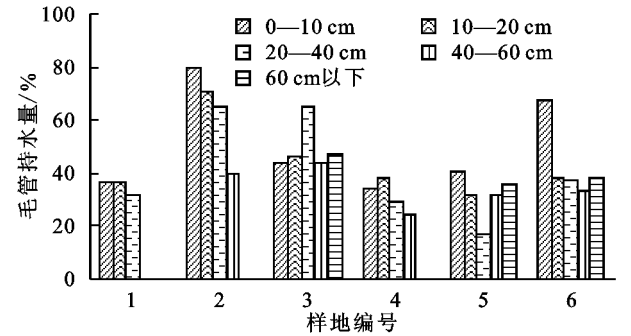


图 6 不同林分类型土壤毛管持水量变化

3.3.3 土壤最大持水量 土壤最大持水量表示林地土壤最大的持水能力。6 种林分类型土壤最大持水量见图 7,其变化范围介于 21.9%~107.8%,均值大小排序为:山杨林(75.6%)>白桦林(52.8%)>黑桦林(51.3%)>油松林(49.4%)>蒙古栎林(40.3%)>华北落叶松林(38.4%),说明山杨林林地土壤持水能力最强。各林地表层土壤有机质含量较高、较疏松,所以表层土壤最大持水量达到顶峰。

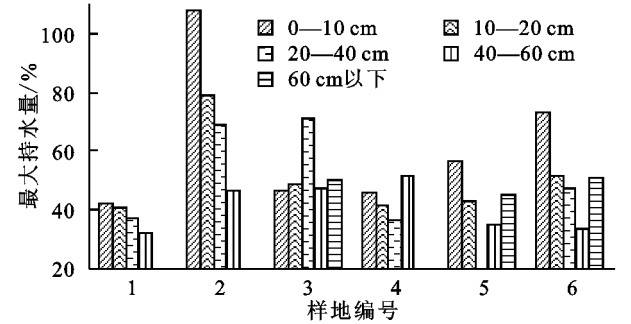


图 7 不同林分类型土壤最大持水量变化

3.4 土壤入渗速率

由图 8 可知,6 种林分类型土壤入渗速率在 5 min 左右迅速下降,在 25~30 min 左右渐渐平缓并逐步稳定,处于稳渗状态。油松林和白桦林趋于平稳状态较慢,大致在 30~35 min,蒙古栎林所需时间最短。土壤入渗水平决定土壤涵养水源的能力,也影响地表径流产生量<sup>[11]</sup>。如果土壤入渗速率较高,不但可以减少地表径流,还能够让更多的降水渗透到土壤中,进而形成壤中流、地下径流<sup>[12]</sup>。表 3 说明,每种林地的土壤初渗速率相差较大,其排序为:白桦林(105.88 mm/min)>油松林(100.00 mm/min)>山杨林(70.59 mm/min)>黑桦林(40.00 mm/min)>蒙古栎林(31.03 mm/min)>华北落叶松林(14.00 mm/min);而稳渗速率在 0.68~15.00 mm/min,油松林最大,华北落叶松林最小。所以,油松林、白桦林土壤渗透性最高,涵养水源的能力最大。图 8 呈现出土壤入渗率与入渗时间的幂函数关系,且相关性较显著。

表 3 不同林分土壤渗透速率

编号	林分 类型	初渗速率 (mm/min)	稳渗速率 (mm/min)
1	华北落叶松林	14.00	0.68
2	山杨林	70.59	8.33
3	白桦林	105.88	4.23
4	油松林	100.00	15.00
5	蒙古栎林	31.03	0.84
6	黑桦林	40.00	2.94

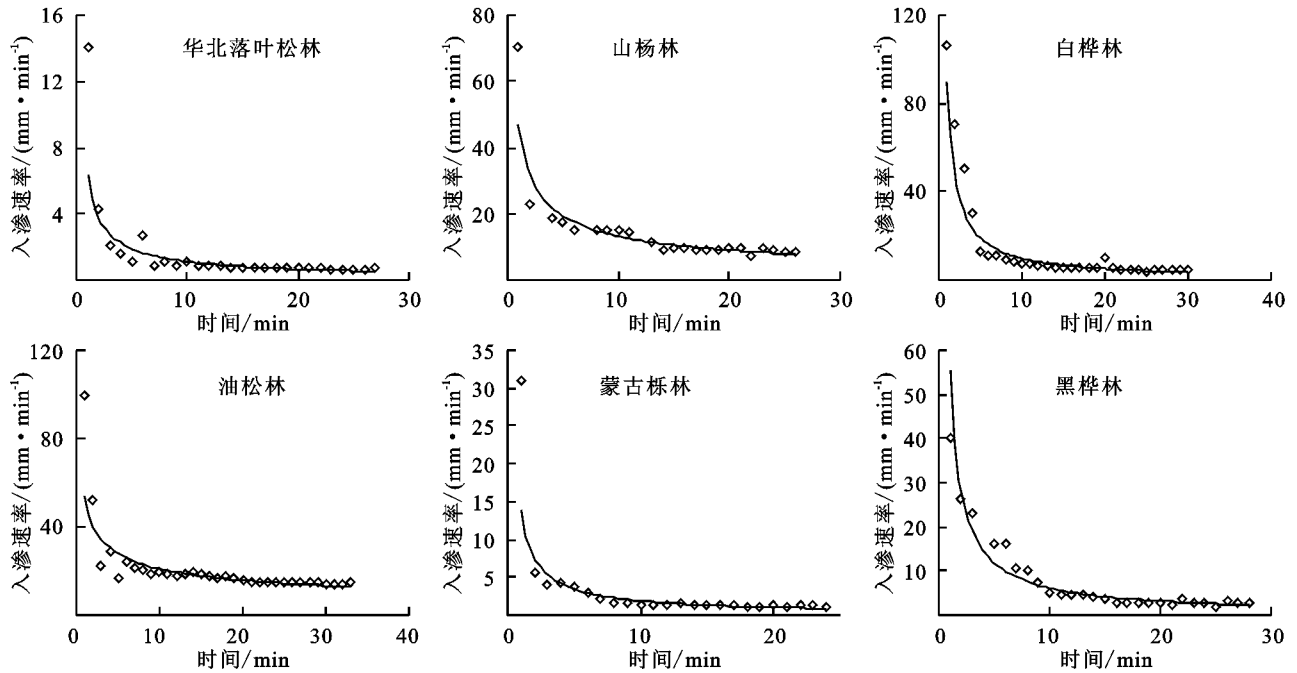


图8 不同林分类型土壤入渗曲线

## 4 结论

(1) 各林地土壤容重与土层深度呈正相关,即土层越深,容重越大。针叶林土壤容重均值大于阔叶林,大小顺序为:华北落叶松林>蒙古栎林>油松林>黑桦林>白桦林>山杨林,其中山杨林土壤疏松多孔,土壤容重最小为  $0.81 \text{ g/cm}^3$ 。

(2) 林地内土壤总孔隙度随土层深度增加而逐渐减少。阔叶林土壤总孔隙度多于针叶林,大小顺序为:山杨林>白桦林>黑桦林>油松林>华北落叶松林>蒙古栎林,其中山杨林土壤总孔隙度最大为 57.6%,有效水的贮存量最多、蓄水能力最强。

(3) 土壤持水量随着土层深度的增加而减小,阔叶林持水能力强于针叶林,综合排序为:山杨林>白桦林>黑桦林>油松林>华北落叶松林>蒙古栎林,其中,山杨林土壤中有效水含量最多、土壤持水能力最高。

(4) 6种林分土壤入渗速率与入渗时间有显著幂函数关系,土壤稳渗大约出现在 25~30 min,油松林稳渗速率最大为  $15.00 \text{ mm/min}$ ,其水土保持的能力最好。

### 参考文献:

[1] 李灵,张玉,孔丽娜,等. 武夷山风景区不同林地类型土壤水分物理性质及土壤水库特性[J]. 水土保持通报, 2011,31(3):60-65.

[2] 易扬,信忠保,覃云斌,等. 黄土丘陵区不同土地利用类型土壤水分物理性质研究[J]. 水土保持研究,2013,23(5):45-49,56.

[3] 田月亮,张金池,李海东,等. 不同林分类型土壤水分物理性质及其海拔效应:以浙江省凤阳山为例[J]. 水土保持通报,2013,33(1):53-57.

[4] 剪文灏,李淑春,陈波,等. 冀北山区三种典型森林类型枯落物水文效应研究[J]. 水土保持研究,2011,18(5):144-147.

[5] 张爱军,岳艳杰,田龙,等. 冀北山地森林土壤水分物理性质和入渗规律研究[J]. 河北林果研究,2015,30(2):108-112.

[6] 陈波,杨新兵,赵心苗,等. 冀北山地 6 种天然纯林枯落物及土壤水文效应[J]. 水土保持学报,2012,26(2):196-202.

[7] 易志军,吴晓芙,胡曰利. 人工林地土壤质量指标及评价[J]. 林业资源管理,2002,4:31-34.

[8] 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.

[9] 张宁,郭宾良,于士涛,等. 冀北山地四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.

[10] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,2005.

[11] 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.

[12] 刘斌,鲁绍伟,李少宁,等. 北京西山 6 种天然纯林枯落物及土壤水文效应[J]. 水土保持学报,2015,29(4):73-78.