

# 接坝地区9种典型林分类型枯落物层和土壤层水文效应

陈继东, 周长亮, 李惠丽

(河北省木兰林管局, 河北围场 068450)

**摘要:**以八英庄林场9种典型林分类型为研究对象,对其枯落物层、土壤层水文效应进行研究,结果表明:(1)9种典型林分类型枯落物蓄积量在5.79~24.97 t/hm<sup>2</sup>的范围内,排序为白桦纯林>白桦山杨混交林>油松纯林>山杨纯林>蒙古栎纯林>落叶松油松混交林>白桦黑桦混交林>落叶松纯林>落叶松白桦混交林。(2)9种典型林分类型枯落物持水能力有一定差异,排序为白桦山杨混交林>山杨纯林>油松纯林>白桦纯林>白桦黑桦混交林>落叶松油松混交林>蒙古栎纯林>落叶松白桦混交林>落叶松纯林。(3)枯落物持水量与浸水时间呈较好的指数关系,相关系数在0.95以上,吸水速率与浸水时间呈较好的幂函数关系,相关系数大于0.9。(4)白桦山杨混交林枯落物有效拦蓄量最大为52.63 t/hm<sup>2</sup>,落叶松白桦混交林枯落物有效拦蓄量最小为14 t/hm<sup>2</sup>。(5)蒙古栎纯林土壤持水能力最强为117.42 t/hm<sup>2</sup>,其次是白桦山杨混交林为104.75 t/hm<sup>2</sup>,白桦纯林土壤持水能力最差为37.80 t/hm<sup>2</sup>。(6)土壤初渗速率在2.3~56.8 mm/min范围内,土壤入渗速率与入渗时间呈较好的幂函数关系,相关系数大于0.95。

**关键词:**接坝地区; 典型林分; 枯落物; 土壤; 水文效应

中图分类号: S715.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)06-0216-06

## Hydrological Effects of Litter and Soils in Nine Forest Types of the Jieba Region

CHEN Jidong, ZHOU Changliang, LI Huili

(Mulan Forestry Administration Bureau, Weichang, Hebei 068450, China)

**Abstract:** A pilot study of hydrological effects of litter and soil layer was carried out in nine forest types in Bayingzhuang forest farm. The results showed: (1) the total storage capacity of litter was about 5.79 ~ 24.97 t/hm<sup>2</sup>, which decreased in the order: *Betula platyphylla* Suk. pure forest > *Betula platyphylla* Suk. -*Populus davidiana* mixed forest > *Pinus tabulaeformis* pure forest > *Populus davidiana* pure forest > *Quercus mongolica* pure forest > *Larix principis rupprechtii*-*Pinus tabulaeformis* mixed forest > *Betula platyphylla* Suk. -*Betula davurica* mixed forest > *Larix principis rupprechtii* pure forest > *Larix principis rupprechtii*-*Betula platyphylla* Suk. mixed forest; (2) there were some differences in water holding capacities of litter in 9 forest types, which decreased in the order of *Betula platyphylla* Suk. -*Populus davidiana* mixed forest > *Populus davidiana* pure forest > *Pinus tabulaeformis* pure forest > *Betula platyphylla* Suk. pure forest > *Betula platyphylla* Suk. -*Betula davurica* mixed forest > *Larix principis rupprechtii*-*Pinus tabulaeformis* mixed forest > *Quercus mongolica* pure forest > *Larix principis rupprechtii*-*Betula platyphylla* Suk. mixed forest > *Larix principis rupprechtii* pure forest; (3) water holding capacity and soaking time had the significant logarithmic relationship, the correlation coefficient was above 0.95; the relationship between absorption rate and soaking time could be described by power function, the correlation coefficient was greater than 0.90; (4) the modified interception amount of *Quercus mongolica* pure forest was the strongest, which was 52.63 t/hm<sup>2</sup>; the modified interception amount of *Larix principis rupprechtii*-*Betula platyphylla* Suk. mixed forest was the least, which was 14 t/hm<sup>2</sup>; (5) water holding capacity of soil in *Quercus mongolica* pure forest was strongest, which was 117.42 t/hm<sup>2</sup>, water holding capacity of soil in *Betula platyphylla* Suk. -*Populus davidiana* mixed forest came the next, which was 104.75 t/hm<sup>2</sup>, water holding capacity of

soil in *Betula platyphylla* Suk. pure forest was the least, which was 37.80 t/hm<sup>2</sup>; (6) the soil initial infiltration rate was about 2.3~56.8 mm/min; The relationship between the infiltration rate and infiltration time could be fitted by power function, the correlation coefficient was greater than 0.95.

**Keywords:** Jieba region; forest types; litter; soil; hydrological effect

森林作为陆地生态系统的重要组成部分, 拥有重要的水文生态功能, 在大气水分循环中起着重要的调节作用<sup>[1-3]</sup>。森林枯落物层和土壤层作为森林水文过程中重要的两个层次, 是实现森林水源涵养和水土保持功能的重要部分<sup>[4-5]</sup>。其中枯落物层是森林水源涵养功能的主要层次, 土壤层的水分贮存和渗透是反映森林水文效应的重要参数<sup>[6]</sup>。林分类型不同森林的水文功能也有所差异<sup>[7]</sup>。目前国内对于接坝地区的研究主要集中在物种多样性、地质、土壤等方面, 对水文功能的研究则相对较少<sup>[8]</sup>, 本文以接坝地区 9 种典型林分类型为研究对象, 从枯落物层和土壤层两个层面出发, 对接坝地区典型林分的水文效应进行分析, 以期对接坝地区森林健康监测和评价以及合理地经营森林提供科学理论依据和数据支持。

## 1 研究区概况

本次研究区位于河北省木兰围场国有林场管理局下的八英庄林场, 地理坐标为北纬 42°0'7"—42°1'46", 东经 118°44'27"—118°3'25", 海拔高度 1 010~1 600 m, 阳坡陡, 土层薄, 阴坡较缓, 土层较厚<sup>[9-10]</sup>。该区域属于燕山余脉低寒区, 年平均气温 3.0℃, 最低气温可达

-42.9℃, 最高气温达 38.9℃, 年积温为 1 600℃, 无霜期 110 d。研究区降水主要集中在每年 7—8 月, 年平均降水量为 380—560 mm。该区土壤主要分为 7 类, 即棕壤、褐土、黑土、风沙土、草甸土、沼泽土以及灰色森林土<sup>[11]</sup>。主要乔木树种有白桦 (*Betula platyphylla*), 油松 (*Pinus tabulae*), 华北落叶松 (*Larix principis-rupprechti*), 山杨 (*Populus davidiana*), 蒙古栎 (*Quercus mongolica*), 五角枫 (*Acer-mono maxim*) 等<sup>[12]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地调查

本次研究区设在河北省木兰林管局八英庄林场, 在对全林区森林植被全面调查的基础上, 选择具有代表性、典型性的林分类型, 在林区内设置山杨纯林、白桦纯林、油松纯林、蒙古栎纯林、落叶松纯林、落叶松白桦混交林、落叶松油松混交林、白桦黑桦混交林和白桦山杨混交林 9 种林分类型的标准地各 1 块, 并对标准地坡向、坡度、海拔进行记录, 对标准地林分郁闭度、平均胸径、平均树高进行测定, 其中郁闭度的测定采用样点法, 标准地概况见表 1。

表 1 不同林分类型标准地概况

林分类型	面积/(m×m)	海拔/m	坡向	坡度/(°)	郁闭度	平均胸径/cm	平均树高/m
I 山杨纯林	30×30	1258	阴坡	23	0.75	8.4	9.5
II 白桦纯林	30×30	1217	半阴坡	28	0.60	13.1	13.8
III 油松纯林	30×30	1279	阴坡	29	0.60	14.2	8.0
IV 蒙古栎纯林	30×30	1227	阴坡	17	0.80	15.9	7.0
V 落叶松纯林	30×30	1320	半阴坡	20	0.70	11.5	8.6
VI 落叶松+白桦混交林	30×30	1344	阴坡	21	0.75	10.9	8.1
VII 落叶松+油松混交林	30×30	1232	半阴坡	21	0.80	15.1	12.2
VIII 白桦+黑桦混交林	30×30	1490	阴坡	24	0.85	9.3	7.9
IX 白桦+山杨混交林	30×30	1215	阴坡	26	0.85	15.3	12.9

### 2.2 研究方法

(1) 枯落物现存量测定。分别在各林分类型标准地内, 分上坡、中坡、下坡各设置 1 块面积为 1.0 m×1.0 m 样方, 分别测量各样方内枯落物总厚度及半分解层、未分解层厚度, 之后对枯落物进行分层取样, 量取鲜重, 并烘干称其干重, 计算枯落物自然含水率和现存量。

(2) 枯落物持水过程测定。采用室内浸水法对枯落物持水过程进行测定, 将烘干的枯落物浸入水中, 并在 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24 h 时记录其湿重,

并计算枯落物最大持水量、最大持水率(其中枯落物最大持水量为枯落物浸水 24 h 的持水量, 相对应的持水率为最大持水率), 分析枯落物持水过程。

(3) 枯落物有效拦蓄量的测定。有效拦蓄量用来估算枯落物对降雨的实际拦蓄量, 即:

$$W = (0.85R_n - R_0) \times M$$

式中:  $W$  为有效拦蓄量(t/hm<sup>2</sup>);  $R_n$  为最大持水率(%);  $R_0$  为平均自然含水率(%);  $M$  为枯落物蓄积量(t/hm<sup>2</sup>)。

(4) 土壤物理性质及持水能力测定。采用剖面法对土壤进行分层取样, 采取环刀法在土壤剖面 0—

10 cm, 10—20 cm, 20—40 cm 处机械取样, 并通过浸水法、置砂法来测定土壤物理性质和持水能力。

(5) 土壤入渗测定。土壤入渗的测定采用双环法。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同林分类型枯落物层水文效应

3.1.1 不同林分类型枯落物蓄积量分析 枯落物蓄积量是评价森林水文效应的重要指标。枯落物蓄积量的多少取决于枯落物的输入量和枯落物的分解速度。因此林分类型、林分生长情况、林地水热条件等都会间接影响枯落物的蓄积量<sup>[13]</sup>。由表 2 可知, 不同林分类型枯落物的蓄积量有一定的差异, 在 5.79~24.97 t/hm<sup>2</sup> 的范围浮动。其中不同林分类型枯

落物总蓄积量排序为白桦纯林(24.97 t/hm<sup>2</sup>)>白桦山杨混交林(24.16 t/hm<sup>2</sup>)>油松纯林(23.61 t/hm<sup>2</sup>)>山杨纯林(23.25 t/hm<sup>2</sup>)>蒙古栎纯林(12.73 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松油松混交林(12.70 t/hm<sup>2</sup>)>白桦黑桦混交林(10.50 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松纯林(9.63 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松白桦混交林(5.79 t/hm<sup>2</sup>)。不同林分类型枯落物半分解层、未分解层蓄积量所占比例不同。其中落叶松纯林、落叶松油松混交林未分解层蓄积量大于半分解层蓄积量, 其他林分类型半分解层蓄积量大于未分解层蓄积量。其中白桦纯林枯落物半分解层所占比例最大为 74.02%, 落叶松纯林半分解层所占比例最小为 46.32%, 这主要是因为针叶树种和阔叶树种的分解难易程度不同。

表 2 不同林分类型枯落物蓄积量

林分类型	枯落物厚度/cm		总厚度/cm	枯落物蓄积量				枯落物总蓄积/(t·hm <sup>-2</sup> )
	半分解层	未分解层		半分解层/(t·hm <sup>-2</sup> )	比例/%	未分解层/(t·hm <sup>-2</sup> )	比例/%	
I	0.3	0.5	0.8	13.14	56.49	10.12	43.51	23.25
II	0.2	0.2	0.4	18.48	74.02	6.49	25.98	24.97
III	0.3	0.7	1.0	17.25	73.08	6.35	26.92	23.61
IV	0.2	0.5	0.7	7.75	60.89	4.98	39.11	12.73
V	1.6	2.0	3.6	4.46	46.32	5.17	53.68	9.63
VI	1.7	1.9	3.6	3.32	57.34	2.47	42.66	5.79
VII	1.1	3.8	4.9	6.00	47.22	6.70	52.78	12.70
VIII	2.0	2.0	4.0	5.63	53.58	4.88	46.42	10.50
IX	2.1	3.0	5.1	14.96	61.92	9.20	38.08	24.16

3.1.2 不同林分类型枯落物持水量分析 枯落物干物质的最大持水量和最大持水率多用来表示枯落物的持水能力, 影响其大小的因素有很多, 包括植被类型、枯落物的组成、林龄、枯落物的分解累积状况等因素<sup>[14]</sup>。由表 3 可知, 不同林分类型枯落物的最大持水量不同, 在 61.18~11.95 t/hm<sup>2</sup> 范围内, 最大持水量总和排序为白桦山杨混交林(61.18 t/hm<sup>2</sup>)>山杨纯林(46.46 t/hm<sup>2</sup>)>油松纯林(38.32 t/hm<sup>2</sup>)>白桦纯林(34.26 t/hm<sup>2</sup>)>白桦黑桦混交林(28.07 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松油松混交林(25.34 t/hm<sup>2</sup>)>蒙古栎纯林(24.46 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松白桦混交林(13.29 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松纯林(11.95 t/hm<sup>2</sup>)。不同林分类型枯落物的最大持水率变化范围在 297.67%~162.43%, 排序为落叶松白桦混交林(297.67%)>白桦山杨混交林(288.90%)>落叶松油松混交林(284.28%)>白桦黑桦混交林(258.80%)>落叶松纯林(233.81%)>山杨纯林(212.92%)>蒙古栎纯林(205.71%)>白桦纯林(164.22%)>油松纯林(162.43%)。不同林分类型枯落物最大持水量和持水率不同是因为枯落物持水量与枯落物蓄积量有关,

枯落物的蓄积量又与枯落物的分解程度有关, 枯落物的分解程度越大, 即枯落物的半分解层蓄积量越大, 枯落物的持水能力越强。因此枯落物分解难易程度影响枯落物的持水能力。

表 3 不同林分类型枯落物最大持水量和最大持水率

林分类型	最大持水量/(t·hm <sup>-2</sup> )			最大持水率/%		
	未分解层	半分解层	总和	未分解层	半分解层	平均
I	26.08	20.38	46.46	262.88	162.94	212.91
II	13.33	20.93	34.26	209.52	118.92	164.22
III	9.20	29.12	38.32	147.60	177.25	162.43
IV	11.52	12.95	24.46	235.97	175.45	205.71
V	5.56	6.39	11.95	278.10	189.52	233.81
VI	7.73	5.56	13.29	330.63	264.71	297.67
VII	13.29	12.05	25.34	345.05	223.51	284.28
VIII	14.02	14.05	28.07	273.25	244.35	258.80
IX	23.67	37.51	61.18	320.60	257.20	288.90

3.1.3 不同林分类型枯落物拦蓄量分析 枯落物层的最大持水量和最大持水率只代表了枯落物层的持水能力, 而不能代表枯落物层对降水的实际拦蓄量和拦蓄能力; 枯落物的有效拦蓄量才能真正反映枯落物实际拦蓄降水的量<sup>[15]</sup>。由表 4 可知, 不同林分类型枯落物未分解层、半分解层拦蓄能力不同。其中枯

落物未分解层有效拦蓄量排序为白桦山杨混交林(24.04 t/hm<sup>2</sup>)>山杨纯林(21.82 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松油松混交林(18.76 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松纯林(11.82 t/hm<sup>2</sup>)>白桦纯林(11.02 t/hm<sup>2</sup>)>白桦黑桦混交林(10.26 t/hm<sup>2</sup>)>蒙古栎纯林(9.73 t/hm<sup>2</sup>)>油松纯林(7.25 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松白桦混交林(6.76 t/hm<sup>2</sup>)。枯落物半分解层有效拦蓄量排序为白桦山杨混交林(28.59 t/hm<sup>2</sup>)>油松纯林(20.68 t/hm<sup>2</sup>)>山杨纯林(13.40 t/hm<sup>2</sup>)>白桦纯林(13.26 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松油松混交林(11.03 t/hm<sup>2</sup>)>白桦黑桦混交林(10.62 t/hm<sup>2</sup>)>蒙古栎纯林(9.69 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松白桦混交林(7.24 t/hm<sup>2</sup>)>落叶松纯林(6.01 t/hm<sup>2</sup>)。综合枯落物未分解层、半分解层有效拦蓄量可知白桦山杨混交林枯落物有效拦蓄量最大为 52.63 t/hm<sup>2</sup>,落叶松白桦混交林枯落物有效拦蓄量最小为 14 t/hm<sup>2</sup>。

### 3.1.4 不同林分类型枯落物持水过程分析

(1) 不同林分类型枯落物持水量与浸水时间关系。枯落物持水量与浸水时间有一定的相关关系,由图 1 可知在浸水 0~2 h 内枯落物持水量迅速增加,2 h 之后枯落物持水量持续增加,但增加的速度逐渐缓慢,最后趋于不变。这是因为枯落物的干燥程度的变化,跟实际降水过程中一样,降水开始,枯落物较干燥对水分的截持能力较强,之后枯落物达到一定湿度,即枯落物达到一定的持水量,对降水的截持能力逐渐变小。从图中还可以看出白桦纯林、白桦山杨混

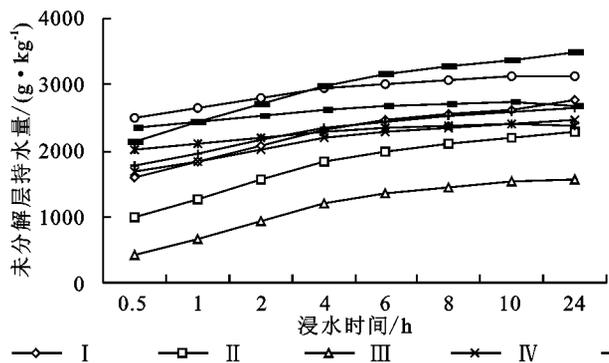


图 1 不同林分类型枯落物持水量与浸水时间关系

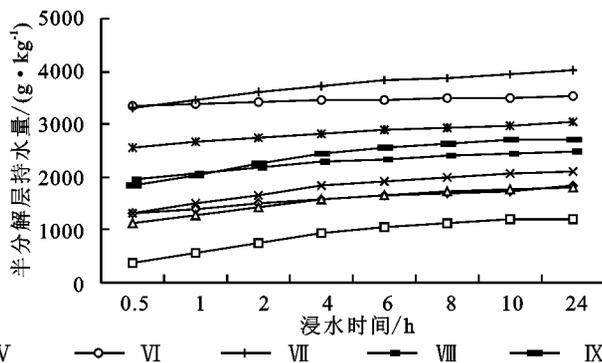
(2) 不同林分类型枯落物吸水速率与浸水时间关系。由图 2 可以看出,不同林分类型枯落物未分解层、半分解层系吸水速率与浸水时间有一定的相关关系,从图中可以看出,枯落物吸水速率在 0~2 h 之间随浸水时间推移急速下降,2 h 之后逐渐下降,但下降的速度趋于缓慢,到浸水 24 h 时吸水速率基本为 0 g/(kg·h),枯落物基本达到饱和。

对各林分类型枯落物半分解层、未分解层吸水速率与浸水时间关系进行拟合,见表 5 得出关系为: $V=at^b$  式中: $V$  为枯落物吸水速率 g/(kg·h); $t$  为浸水时间

交林未分解层持水量在各时间段高于半分解层,其他林分类型则是半分解层持水量大于未分解层。对各林分类型枯落物半分解层、未分解层持水量与浸水时间关系进行拟合,见表 5 得出关系为: $Q=a\ln(t)+b$  式中: $Q$  为枯落物持水量(g/kg); $t$  为浸水时间(h); $a$  为方程系数; $b$  为常数项。

表 4 不同林分类型枯落物拦蓄能力

林分类型	枯落物蓄积量/(t·hm <sup>-2</sup> )	自然含水率/%	最大持水率/%	有效拦蓄量/(t·hm <sup>-2</sup> )	有效拦蓄深/mm	
未分解层	I	10.12	7.81	262.88	21.82	2.18
	II	6.49	8.15	209.52	11.02	1.10
	III	6.35	11.34	147.60	7.25	0.73
	IV	4.98	5.15	235.97	9.73	0.97
	V	5.17	7.83	278.10	11.82	1.18
	VI	2.47	7.00	330.63	6.76	0.68
	VII	6.70	13.29	345.05	18.76	1.88
	VIII	4.88	21.92	273.25	10.26	1.03
	IX	9.20	11.24	320.60	24.04	2.40
半分解层	I	13.14	36.46	162.94	13.40	1.34
	II	18.48	29.36	118.92	13.26	1.33
	III	17.25	30.80	177.25	20.68	2.07
	IV	7.75	24.10	175.45	9.69	0.97
	V	4.46	26.47	189.52	6.01	0.60
	VI	3.32	6.90	264.71	7.24	0.72
	VII	6.00	6.08	223.51	11.03	1.10
	VIII	5.63	19.03	244.35	10.62	1.06
	IX	14.96	27.54	257.20	28.59	2.86



(h); $a$  为方程系数; $b$  为常数项。

### 3.2 不同林分类型土壤层水文效应

3.2.1 不同林分类型土壤容重 土壤容重是反映土壤通气、透水性的重要参考指标,其值越小说明土壤越疏松,土壤的通气透水性越好,其值越大,说明土壤越结实,通气透水性越差<sup>[16]</sup>。由表 6 可知,落叶松纯林土壤容重最大为 1.25 g/cm<sup>3</sup>,山杨纯林土壤容重最小为 0.80 g/cm<sup>3</sup>,不同林分类型土壤容重排序为落叶松纯林(1.25 g/cm<sup>3</sup>)>落叶松油松混交林(1.24 g/cm<sup>3</sup>)>落叶松白桦混交林(1.13 g/cm<sup>3</sup>)>

蒙古栎纯林(1.11 g/cm<sup>3</sup>)>油松纯林(1.08 g/cm<sup>3</sup>)>白桦黑桦混交林(0.98 g/cm<sup>3</sup>)>白桦山杨混交林

(0.91 g/cm<sup>3</sup>)>白桦纯林(0.90 g/cm<sup>3</sup>)>山杨纯林(0.80 g/cm<sup>3</sup>)。

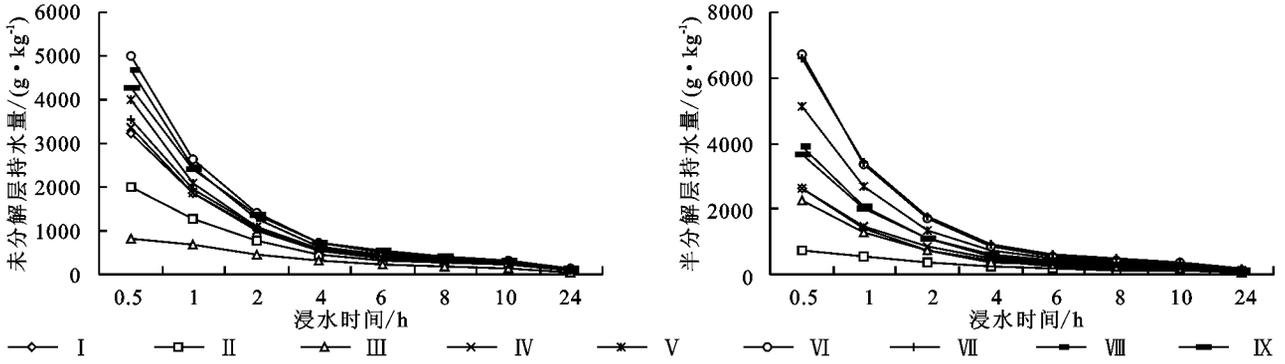


图2 不同林分类型枯落物吸水速率与浸水时间关系

表5 不同林分类型枯落物持水量、吸水速率与浸水时间关系

林分类型	持水量与浸水时间关系式	$R^2$	吸水速率与浸水时间关系式	$R^2$	
未分解层	I	$Q=567.8\ln(t)+1527.0$	0.982	$V=4335.0t^{-0.50}$	0.945
	II	$Q=649.0\ln(t)+917.2$	0.984	$V=2731.0t^{-1.36}$	0.927
	III	$Q=600.8\ln(t)+345.7$	0.982	$V=1194.0t^{-1.10}$	0.863
	IV	$Q=399.4\ln(t)+1624.0$	0.984	$V=4535.0t^{-1.58}$	0.948
	V	$Q=206.91\ln(t)+1988.0$	0.970	$V=5481.0t^{-1.68}$	0.951
	VI	$Q=332.2\ln(t)+2458.0$	0.980	$V=6791t^{-1.65}$	0.950
	VII	$Q=438.5\ln(t)+1723.0$	0.984	$V=4815.0t^{-1.57}$	0.948
	VIII	$Q=188.4\ln(t)+2335.0$	0.951	$V=6428.0t^{-1.70}$	0.951
	IX	$Q=674.1\ln(t)+2018.0$	0.982	$V=5777.0t^{-1.53}$	0.936
半分解层	I	$Q=239.3\ln(t)+1266.0$	0.956	$V=3522.0t^{-1.61}$	0.944
	II	$Q=436.5\ln(t)+322.8$	0.984	$V=1058.0t^{-1.18}$	0.888
	III	$Q=354.0\ln(t)+1076.0$	0.984	$V=3033.0t^{-1.53}$	0.943
	IV	$Q=403.4\ln(t)+1263.0$	0.984	$V=3556.0t^{-1.53}$	0.955
	V	$Q=224.7\ln(t)+2531.0$	0.956	$V=6977.0t^{-1.69}$	0.956
	VI	$Q=86.89\ln(t)+3333.0$	0.956	$V=9162.0t^{-1.75}$	0.956
	VII	$Q=359.21\ln(t)+3241$	0.981	$V=8943.0t^{-1.67}$	0.954
	VIII	$Q=258.6\ln(t)+1918.0$	0.984	$V=5299.0t^{-1.65}$	0.952
	IX	$Q=453.7\ln(t)+1790.0$	0.981	$V=4998.0t^{-1.57}$	0.945

表6 不同林分类型土壤物理性质

林分类型	土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%
I	0.80	58.68	49.20	9.48
II	0.90	52.53	48.75	3.78
III	1.08	46.79	38.24	8.55
IV	1.11	45.76	34.02	11.74
V	1.25	45.13	40.11	5.03
VI	1.13	55.74	50.40	5.35
VII	1.24	42.37	37.87	4.50
VIII	0.98	62.47	56.21	6.26
IX	0.91	61.09	50.61	10.48

3.2.2 不同林分类型土壤孔隙度 毛管孔隙具有明显的毛管作用,水分能保持在其中,水分容易被植物吸收利用,因此土壤孔隙度的大小直接反映森林植被吸持水分用于维持自身生长发育的能力;而非毛管孔隙水分不能保持其中,为空气占据,如果非毛管孔隙

度大,其可以大量吸收雨水,因此非毛管孔隙度的大小直接影响森林土壤滞留水分和调节水分的功能<sup>[17]</sup>。由表6可知不同林分类型土壤毛管孔隙度排序为白桦黑桦混交林(56.21%)>白桦山杨混交林(50.61%)>落叶松白桦混交林(50.40%)>山杨纯林(49.20%)>白桦纯林(48.75%)>落叶松纯林(40.11%)>油松纯林(38.24%)>落叶松油松混交林(37.87%)>蒙古栎纯林(34.02%),说明白桦黑桦混交林土壤中能被植物利用的水分较多。不同林分类型土壤非毛管孔隙度排序为蒙古栎纯林(11.74%)>白桦山杨混交林(10.48%)>山杨纯林(9.48%)>油松纯林(8.55%)>白桦黑桦混交林(6.26%)>落叶松白桦混交林(5.35%)>落叶松纯林(5.03%)>落叶松油松混交林(4.50%)>白桦纯林(3.78%),说明蒙古栎纯林土壤通透性好,水源涵养功能较强。不同林分类型土壤总孔隙度排序为白桦黑桦混交林(62.47%)>白桦山杨混交林

(61.09%) > 山杨纯林(58.68%) > 落叶松白桦混交林(55.74%) > 白桦纯林(52.53%) > 油松纯林(46.79%) > 蒙古栎纯林(45.76%) > 落叶松纯林(45.13%) > 落叶松油松混交林(42.37%)。

3.2.3 不同林分类型土壤持水能力 由表 7 可知不同林分类型土壤最大持水量排序为白桦黑桦混交林(624.70 t/hm<sup>2</sup>) > 白桦山杨混交林(610.89 t/hm<sup>2</sup>) > 山杨纯林(586.79 t/hm<sup>2</sup>) > 落叶松白桦混交林(557.44 t/hm<sup>2</sup>) > 白桦纯林(525.30 t/hm<sup>2</sup>) > 油松纯林(467.93 t/hm<sup>2</sup>) > 蒙古栎纯林(457.63 t/hm<sup>2</sup>) > 落叶松纯林(451.35 t/hm<sup>2</sup>) > 落叶松油松混交林(423.74 t/hm<sup>2</sup>)。不同林分类型土壤有效持水量排序为蒙古栎纯林(117.42 t/hm<sup>2</sup>) > 白桦山杨混交林(104.75 t/hm<sup>2</sup>) > 山杨纯林(94.76 t/hm<sup>2</sup>) > 油松纯林(85.49 t/hm<sup>2</sup>) > 白桦黑桦混交林(62.62 t/hm<sup>2</sup>) > 落叶松白桦混交林(53.46 t/hm<sup>2</sup>) > 落叶松纯林(50.26 t/hm<sup>2</sup>) > 落叶松油松混交林(45.01 t/hm<sup>2</sup>) > 白桦纯林(37.80 t/hm<sup>2</sup>)，蒙古栎纯林土壤有效持水量最大，说明蒙古栎纯林土壤水土保持功能最强。

表 7 不同林分类型土壤持水能力

林分类型	最大持水量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	毛管持水量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	非毛管持水量/ (t · hm <sup>-2</sup> )
I	586.79	492.03	94.76
II	525.30	487.50	37.80
III	467.93	382.44	85.49
IV	457.63	340.21	117.42
V	451.35	401.08	50.26
VI	557.44	503.98	53.46
VII	423.74	378.73	45.01
VIII	624.70	562.07	62.62
IX	610.89	506.14	104.75

3.2.3 不同林分类型土壤入渗 土壤渗透性反映土壤物理性质的重要性质之一，是反映土壤水源涵养功能的重要指标。由表 8 可以看出，白桦黑桦混交林土壤初渗速率最大为 56.8 mm/min，白桦纯林、油松纯林土壤初渗速率最小为 2.3 mm/min。不同林分类型土壤稳渗速率排序为蒙古栎纯林(2.3 mm/min) > 白桦山杨混交林(2.0 mm/min) > 山杨纯林(8.6 mm/min) > 油松纯林(1.2 mm/min) > 白桦黑桦混交林(3.1 mm/min) > 落叶松白桦混交林(2.8 mm/min) > 落叶松纯林(2.0 mm/min) > 落叶松油松混交林(1.9 mm/min) > 白桦纯林(1.1 mm/min)。将土壤入渗速率与入渗时间进行拟合，得拟合关系式为：

$$y = at^b, R > 0.95.$$

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

表 8 不同林分类型土壤渗透速率及入渗模型

林分类型	初渗速率/ (mm · min <sup>-1</sup> )	稳渗速率/ (mm · min <sup>-1</sup> )	入渗模型	R <sup>2</sup>
I	35.9	8.6	$y = 36.79t^{-0.48}$	0.991
II	2.3	1.1	$y = 1.921t^{-0.22}$	0.889
III	2.3	1.2	$y = 2.069t^{-0.20}$	0.953
IV	20.9	2.3	$y = 47.51t^{-1.02}$	0.988
V	22.2	2.0	$y = 16.74t^{-0.35}$	0.991
VI	27.3	2.8	$y = 56.52t^{-0.94}$	0.990
VII	22.3	1.9	$y = 59.35t^{-1.05}$	0.989
VIII	56.8	3.1	$y = 29.63t^{-0.76}$	0.990
IX	27.5	2.0	$y = 52.37t^{-0.82}$	0.950

## 4 结论

(1) 对研究区内 9 种典型林分类型枯落物蓄积量进行分析：不同林分类型枯落物的蓄积量在 5.79 ~ 24.97 t/hm<sup>2</sup> 的范围内。白桦纯林枯落物总蓄积量最大为 24.97 t/hm<sup>2</sup>，落叶松白桦混交林最小为 5.79 t/hm<sup>2</sup>。9 种典型林分类型枯落物持水能力在 61.18 ~ 11.95 t/hm<sup>2</sup> 范围内，其中白桦山杨混交林持水能力最强为 61.18 t/hm<sup>2</sup>，其次是山杨纯林为 46.46 t/hm<sup>2</sup>，落叶松纯林持水能力最差为 11.95 t/hm<sup>2</sup>。白桦山杨混交林枯落物有效拦蓄量最大为 52.63 t/hm<sup>2</sup>，落叶松白桦混交林枯落物有效拦蓄量最小为 14 t/hm<sup>2</sup>。对 9 种典型林分类型枯落物持水量与浸水时间关系进行拟合，关系式为  $Q = a \ln(t) + b$ ，相关系数大于 0.95，吸水速率与浸水时间关系进行拟合，关系式为  $V = at^b$ ，相关系数在 0.9 以上。

(2) 9 种典型林分类型中，蒙古栎纯林土壤持水能力最强为 117.42 t/hm<sup>2</sup>，其次是白桦山杨混交林为 104.75 t/hm<sup>2</sup>，白桦纯林土壤持水能力最差为 37.80 t/hm<sup>2</sup>。白桦黑桦混交林土壤初渗速率最大为 56.8 mm/min，白桦纯林、油松纯林土壤初渗速率最小为 2.3 mm/min，两者相差 24.7 倍。不同林分类型土壤稳渗速率相差不大，将土壤入渗速率与入渗时间进行拟合，得拟合关系式为  $y = at^b$ ，相关系数大于 0.95。

### 参考文献：

- [1] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [2] 赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国彬. 黄土高原人工油松林枯枝落叶层的水土保持功能研究[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 168-172.
- [3] 赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国彬. 黄土高原人工油松林水文生态效应[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 376-379.
- [4] 冯楷斌, 张暘暘, 郭敬丽. 冀北山地不同类型白桦林枯落物及土壤持水性能研究[J]. 林业资源管理, 2016, 4(2): 74-80.
- [5] 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.

- 概况[J]. 广东农业科学, 2010(11):276-278.
- [7] 郎惠卿, 祖文辰, 金树仁. 中国沼泽[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1983.
- [8] McFarlane D J, George R J, Farrington P. Changes in the Hydrologic Cycle[M]// Hobbs R J, Saunders D A. Reintegrating Fragmented Landscapes. New York: Springer, 1993.
- [9] Cox J W, McFarlane D J. The causes of waterlogging in shallow soils and their drainage in southwestern Australia[J]. Journal of Hydrology, 1995, 167(1/4):175-194.
- [10] 孙广友. 沼泽湿地的形成演化[J]. 国土与自然资源研究, 1998(4):33-35.
- [11] Hatton T J, Nulsen R A. Towards achieving functional ecosystem mimicry with respect to water cycling in southern Australian agriculture[J]. Agroforestry Systems, 1999, 45(1/3):203-214.
- [12] 牛焕光, 宋海远. 三江平原地区沼泽成因及泥炭分布规律[J]. 地理科学, 1990, 10(3):246-256.
- [13] 田守成, 王于洋. 黑龙江省涝渍灾害分析[J]. 东北水利水电, 1996(7):32-35.
- [14] 吕宪国. 湿地科学研究进展及研究方向[J]. 中国科学院院刊, 2002(3):170-172.
- [15] 李红艳, 刘庆华, 魏永霞. 三江平原涝渍灾害成因及治理过程的思考[J]. 水利科技与经济, 2003, 9(3):218-219.
- [16] 黄丽, 何平, 孙群晶. 2004年与历年三江平原成灾雨型分析[J]. 黑龙江水专学报, 2005, 32(1):1-3.
- [17] 朱建强. 易涝易渍农田排水应用基础研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [18] 乔樵, 沈善敏. 周绍权东北北部黑土水分状况之研究. I: 黑土水分状况的基本特征及其与成土过程的关系[J]. 土壤学报, 1963, 11(2):143-158.
- [19] 郭大本, 王清. 三江平原沼泽湿地开垦前后下垫面水理性质变化研究[J]. 黑龙江水专学报, 1995, 02(1):1-8, 18.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [21] 赵雅琼, 王周锋, 王文科, 等. 不同粒径下土壤水分特征曲线的测定与拟合模型的研究[J]. 中国科技论文, 2015(3):287-290.
- [22] 伊盼盼, 牛圣宽, 韦昌富. 干密度和初始含水率对非饱和和重塑粉土土水特征曲线的影响[J]. 水文地质工程地质, 2012, 39(1):42-46.
- [23] Yang C, Sheng D, Carter J P. Effect of hydraulic hysteresis on seepage analysis for unsaturated soils[J]. Comput. Geotech, 2012, 41:36-56.
- [24] 高惠嫣, 杨路华. 不同质地土壤的水分特征曲线参数分析[J]. 河北农业大学学报, 2012, 35(5):129-132.
- [25] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [26] 史海滨, 田军仓, 刘庆华. 灌溉排水工程学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006:16-17.

~~~~~

(上接第221页)

- [6] 张祎, 李鹏, 刘晓君, 等. 黄土丘陵区不同植被类型枯落物持水效能研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5):100-105.
- [7] 鲁绍伟, 陈波, 潘青华, 等. 北京山地不同密度侧柏人工林枯落物及土壤水文效应[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1):224-229.
- [8] 张宁, 郭宾良, 张楠, 等. 滦河典型林分枯落物层与土壤层的水文效应[J]. 水土保持通报, 2015, 35(3):43-48.
- [9] 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.
- [10] 徐娟, 余新晓, 席彩云. 北京十三陵不同林分枯落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3):189-193.
- [11] 王海东, 李明桂, 张丽玮, 等. 冀北山地油松林枯落物的持水特性研究[J]. 河北林果研究, 2014, 29(3):263-266.
- [12] 常月梅, 王春风, 启东, 等. 滦河上游水源涵养林枯落物层水文效应研究[J]. 河北林果研究, 2014, 29(4):359-363.
- [13] 郭成久, 孙景刚, 苏芳莉, 等. 土壤容重对草甸土坡面养分流失特征的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(6):27-30.
- [14] 田大伦, 陈书军. 樟树人工林土壤水文—物理性质特征分析[J]. 中南林学院学报, 2005, 25(4):1-6.
- [15] 郭砾, 夏北成, 倪国祥. 不同森林类型的土壤持水能力及其环境效应研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005, 44(S):327-330.
- [16] 吴强, 楚聪颖, 张鹏, 等. 滦河上游7种典型林分类型水土保持功能[J]. 水土保持学报, 2015, 29(5):40-44.
- [17] 张社奇, 王国栋, 时新玲, 等. 黄土高原油松人工林地土壤水分物理性质研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1):60-64.