

# 河北省太行山区 3 种人工水土保持林 枯落物及土壤水文效应

庞梦丽, 朱辰光, 翟博超, 屈宇

(河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000)

**摘要:** [目的] 揭示人工水土保持林林下枯落物以及土壤持水特征, 为太行山区水土保持林的建造和规划提供理论依据。[方法] 运用烘干法, 室内浸泡法, 环刀法等得出不同林分林下枯落物蓄积量、持水量、吸水速率、最大持水能力和拦蓄量, 比较了不同林分枯落物和土壤的持水能力。[结果] 枯落物总储量范围为 9.96~19.19 t/hm<sup>2</sup>, 表现为栓皮栎林总储量最大, 荒坡总储量最小。枯落物最大持水量变化范围为 23.76~66.72 t/hm<sup>2</sup>, 栓皮栎—侧柏混交林最大, 荒坡最小。栓皮栎—侧柏混交林有效拦蓄量可达 51.50 t/hm<sup>2</sup>, 在各林分中最大; 荒坡有效拦蓄量为 19.55 t/hm<sup>2</sup>, 在各林分中最小。枯落物持水量、吸水速率均与浸泡时间呈相关关系, 前者为对数关系 ( $R>0.97$ ), 后者为幂函数关系 ( $R>0.98$ )。各林分土壤容重均值介于 1.14~1.55 g/cm<sup>3</sup>, 总孔隙度介于 38.62%~43.76%。各林分土壤有效持水量表现为: 刺槐林>栓皮栎—侧柏混交林>栓皮栎林>荒坡, 其中刺槐林最大(为 106.85 t/hm<sup>2</sup>), 荒坡最小(为 89.37 t/hm<sup>2</sup>)。[结论] 水土保持林持水能力远大于荒坡。

**关键词:** 太行山; 水土保持林; 枯落物; 土壤水文

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)01-0051-06

**中图分类号:** S715.7

**文献参数:** 庞梦丽, 朱辰光, 翟博超, 等. 河北省太行山区 3 种人工水土保持林枯落物及土壤水文效应[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 051-056. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.009; Pang Mengli, Zhu Chenguang, Zhai Bochao, et al. Water-holding capacity of litter and soil in three kinds of soil and water conservation forests in Taihang Mountains of Hebei Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1): 051-056. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.009

## Water-holding Capacity of Litter and Soil in Three Kinds of Soil and Water Conservation Forests in Taihang Mountains of Hebei Province

PANG Mengli, ZHU Chenguang, ZHAI Bochao, QU Yu

(College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

**Abstract:** [Objective] The objective of this study is to investigate the water-holding capacity of litter and soil and to provide support for planning and planting soil and water conservation forests in Taihang Mountains. [Methods] Drying method, indoor soaking and cutting ring method were used to determine the water holding capacity by litter and soil in different kinds of forest stands. [Results] The total storage by litter ranged from 9.96 t/hm<sup>2</sup> to 19.19 t/hm<sup>2</sup>. The maximum water-holding volume of different forests was about 23.76 t/hm<sup>2</sup> to 66.72 t/hm<sup>2</sup>, the order was *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* mixed forest > *Q. variabilis* forest > *Robinia pseudoacacia* forest > controlled forestland. The maximum effective retaining water of litter occurred in *Q. variabilis* and *P. orientalis* mixed forest while the minimum in controlled forestland. The water-holding capacity of litters and immersion time had visible logarithmic relationship ( $R>0.97$ ), whereas the litter absorption rate and immersion time followed an exponential relationship ( $R>0.98$ ). Soil bulk density was about 1.14 g/cm<sup>3</sup> to 1.55 g/cm<sup>3</sup>, the total porosity ranged from 38.62% to 43.76%. The order of effective water-holding capacity of soil in these forests was *R. pseudoacacia* forest > *Q. variabilis* and *P. orien-*

收稿日期: 2016-06-21

修回日期: 2016-06-27

资助项目: 国家林业公益性行业科研专项“太行山干旱退化山地旱涝灾害生态调控技术研究”(201504408)

第一作者: 庞梦丽(1990—), 女(汉族), 河南省南阳市人, 硕士研究生, 研究方向为生态学。E-mail: shenqiuse@qq.com。

通讯作者: 屈宇(1960—), 男(族汉), 河北省保定市人, 副教授, 主要从事城市景观生态的教学和研究。E-mail: quyu0312@126.com。

talis mixed forest>*Q. variabilis* forest>controlled forestland( maximum in *R. pseudoacacia* 106.85 t/hm<sup>2</sup>, while minimum in controlled forest land 89.37 t/hm<sup>2</sup>). [Conclusion] The water holding capacity of forest lands was much better than controlled forestland.

**Keywords:** Taihang Mountains; soil and water conservation forests; litters; porosity

作为森林与土壤的重要媒介,枯落物发挥着水源涵养、防止水土流失的功能<sup>[1]</sup>。一般将枯落物分为未分解层和半分解层 2 个层次。未分解层是指大致保留原状及质地的枯枝落叶,而半分解层是指还未全部腐败、人眼可分辨其大体形状的枯枝落叶<sup>[2]</sup>。作为森林生态系统最具活力的功能层次之一,枯落物层由于内部结构疏松且分布广泛,可显著截持降雨,削弱雨水对土壤的直接冲刷;且具有减少地表水分蒸发,减少土壤流失及改善土壤理化性质的功能,在水源涵养、水土保持,以及促进生态系统物质循环中发挥的作用不可忽视<sup>[3-4]</sup>。枯落物的储量以及持水能力是研究森林生态功能的重要依据和理论基础,而土壤作为森林生态系统的又一重要组成部分,其水文效应是探究森林水文过程的基础和前提<sup>[5]</sup>。目前,针对涵养水源的研究表明,枯落物层与土壤层调节降水能力非常可观<sup>[6]</sup>。

河北省太行山区存在地域土壤瘠薄、植被面积小,水土流失及早涝灾害频发等问题。广大人民群众积极探索、努力实践,在发展经济的同时致力于以林业为主的水土保持生态环境建设,因地制宜、适地适树进行林草建设等综合治理。现有研究成果表明这些措施已对该区的生态环境以及经济建设起到非常积极的作用。本研究拟选择该区栓皮栎—侧柏混交林、栓皮栎林、刺槐林等 3 种典型水土保持林以及对照荒坡为研究对象,对其枯落物以及土壤水文效应进行研究,以期揭示不同林分的水源涵养能力,进而为研究区水土保持林的保护、提质、改造等相关决策提供基础数据与技术参考。

## 1 研究区概况

试验区位于太行山中南部的河北省邢台市内丘县侯家庄乡岗底村。该区为片麻岩山区,位于太行山南段东麓,地理坐标为 113°45′—115°50′E,36°45′—

37°48′N,海拔 518~1 200 m,属于暖温带半湿润大陆性季风气候,春季干旱,夏季高温多雨,平均气温 11.6℃,最高气温为 38℃,最低气温为-19℃;年均降水量 523 mm,多集中在 7—8 月,无霜期 180 d。土壤以褐土为主,类型为壤土或砂壤土。主要乔木树种栓皮栎(*Quercus variabilis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、主要灌木有荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)、杭子梢(*Campylotropis macrocarpa*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、雀儿舌头(*Leptopus chinensis* var. *chinensis*)等,草本多为白莲蒿(*Artemisia sacrorum* var. *sacrorum*)、中华卷柏(*Selaginella sinensis*)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata*)、丛生隐子草(*Cleistogenes caespitosa*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 样地调查

于 2015 年 8 月实地考察研究区植被特征,选择了该区典型的栓皮栎—侧柏混交林、栓皮栎、刺槐以及荒坡作为研究对象。在各林分中分别设置 20 m×20 m 的标准样地各 3 个,记录样地海拔、坡度、坡向以及土层厚度,并进行每木检尺,测量胸径、树高等因子,郁闭度采用样点法目测确定。样地基本特征如表 1 所示。

### 2.2 枯落物储量调查

在标准样地内沿对角线设置 100 cm×100 cm 的样方 3 个,用钢尺测定各样方内枯落物层厚度,按枯落物未分解层、半分解层分别收纳入尼龙袋内,快速称取鲜重。取样时尽可能保持枯落物样品的原始状态,将样品取回后用干燥箱在 80℃ 恒温条件下烘 24 h 后称其干重,并计算各林分类型枯落物的蓄积量。

表 1 研究区各林分样地概况

林分类型	主要树种	海拔/km	坡度/°	坡向	平均树高/m	平均胸径/cm	郁闭度/%	土层厚度/cm
I	栓皮栎、侧柏	0.848	33.0	100	6.8	7.8	80	16
II	栓皮栎	0.691	33.0	145	15.5	15.1	80	22
III	刺槐	0.649	27.5	182	5.7	8.2	70	18
IV	荆条、酸枣	0.579	24.0	130	1.2	—	70	18

### 2.3 枯落物持水特性测定

采用室内浸泡法<sup>[7]</sup>,取恒温烘干的枯落物适量(按不同分解层)装入网纱袋内浸没在水中,分别记录其在 0.5,1,2,4,6,8,10,24 h 时的重量,计算在各时段不同分解层次的持水量和持水速率。

### 2.4 枯落物有效拦蓄量测定

在森林生态系统中,枯落物对降雨的拦截,减弱降水对坡面冲刷起着十分重要的作用。枯落物对降水的实际拦蓄量多使用有效拦蓄量进行估计<sup>[8]</sup>,公式如下:

$$W = (0.85 R_m - R_o)M \quad (1)$$

式中: $W$ ——有效拦蓄量( $t/hm^2$ ); $R_m$ ——枯落物最大持水率(%); $R_o$ ——枯落物自然含水率(%); $M$ ——枯落物储量( $t/hm^2$ );0.85——枯落物有效拦水系数。

### 2.5 土壤水分与物理性质测定

本研究采用剖面法对土壤进行调查,在各不同林分标准地内随机选取样点。由于研究地为片麻岩山区,土层浅薄,受自然环境所限,采用环刀法在已挖掘的剖面上按照 0—5,5—10,10—20 cm 进行机械取样。土壤含水量利用烘干法测算,土壤容重以及孔隙度等物理指标采用环刀浸泡法<sup>[9]</sup>测定。持水量计算公式为:

$$W = 1000Ph \quad (2)$$

式中: $W$ ——土壤持水量( $t/hm^2$ ); $P$ ——土壤孔隙度(%); $h$ ——土层厚度(m)。

## 3 结果与分析

### 3.1 枯落物厚度与蓄积量

枯落物量是衡量森林生态系统第一生产力的重要指标,枯落物储量受到枯落物结构、地表积累时间和微生物等对其分解速度的影响,同时林分结构、气象因素、枯落物自身特性以及人类活动等与枯落物储量也密切相关<sup>[10]</sup>。

从表 2 中可以看出,枯落物总厚度变化范围为 32~55 mm,从大到小依次为:II>I>III>IV,其中 II 厚度最大,IV 厚度最小。总蓄积量存在差异,在 9.96~19.19  $t/hm^2$  范围内变动,且 II>I>III>IV。II 蓄积量最大,IV 蓄积量最小,I 和 III 介于两者之间。II 枯落物蓄积量最大,主要是因为 II 郁闭度大,且林下灌草结构丰富,枯落物年生产量大;I 郁闭度较低而储量较大,这可能由于林分组成中阔叶树种栓皮栎枯落物年生产量大,且侧柏枯落物质地坚硬分解较慢所致;IV 林分结构简单,枯枝落叶组成相对单调,所以储量较小。

表 2 研究区各林分类型枯落物厚度和储量

林分类型	枯落物总厚度/mm	枯落物总储量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	未分解层		半分解层	
			储量/( $t \cdot hm^{-2}$ )	比例/%	储量/( $t \cdot hm^{-2}$ )	比例/%
I	48	18.32	8.90	48.60	9.42	51.40
II	55	19.19	7.36	39.27	11.38	60.73
III	40	11.14	3.94	35.41	7.19	64.59
IV	32	9.96	5.37	53.91	4.59	46.09

各林分未分解层占其总储量的百分比依次为:IV>I>II>III。IV 枯落物中未分解层比例最大,III 所占比例最小,I 与 II 所占比例介于两者之间。由于 IV 主要为小型灌木,缺少高大乔木遮蔽,蒸发旺盛,缺少促进枯落物分解的水分条件,故 IV 枯落物分解程度低;由于枯落物的 N,P 含量越高,其分解速率越快<sup>[11]</sup>,而刺槐 N,P 释放相对容易<sup>[12]</sup>,故 III 枯落物分解程度较高。I,II,III 半分解层储量所占百分比均高于未分解层,这可能在一定程度刺激有机质的分解<sup>[13]</sup>,提高土壤养分<sup>[14]</sup>。

### 3.2 各林分枯落物的持水能力

3.2.1 枯落物最大持水量 从表 3 可看出,各林分最大持水总量变化范围为 24.54~66.72  $t/hm^2$ ,从大到小依次表现为:I>II>III>IV,最大值 I 约为最小值 IV 的 2.7 倍,表明 I 持水能力最强,IV 持水能力

最弱。结合表 2 可知,枯落物蓄积量是最大持水量的决定性因素。各林分最大持水率范围为 217.06%~362.92%,从大到小依次表现为:I>III>II>IV,最大值约为最小值的 1.7 倍,与最大持水量变化不尽相同,这是由于树种组成不同所造成的<sup>[15]</sup>。最大持水量可以反映枯落物自身持水能力的大小<sup>[16]</sup>,但由于降雨因素和枯落物及土壤层的透水性,实际情况中枯落物一般不会被雨水浸泡 24 h,使用最大持水量来估算枯落物层对降雨的拦蓄能力,结果偏高<sup>[17]</sup>。

3.2.2 枯落物有效拦蓄量 枯落物自然含水量、最大持水量、最大拦蓄量等指标无法代表枯落物对降雨的实际截留量,只能反映枯落物层自身持水能力的大小,而枯落物对雨水的实际拦蓄量常用有效拦蓄量来估算,它与枯落物总量、水文状况和降雨特性等因素有关。从表 4 中可知各林分有效拦蓄能力存在差异,

有效拦蓄率在未分解层中从大到小依次为: I > II > III > IV, 最高的是 I, 最低的是 IV; 在半分解层中从高到底依次为: III > I > IV > II, 最高的是 III, 最低的是

II。有效拦蓄量在未分解层中 I 最大, 在半分解层中 II 最大, 这表明枯落物蓄积量是影响不同林分有效拦蓄量的主要因素<sup>[18]</sup>。

表 3 研究区各林分枯落物最大持水率和最大持水量

样地类型	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	38.39	28.33	66.72	407.67	318.18	362.92
II	26.93	28.62	55.55	365.85	251.43	308.64
III	13.61	23.50	37.11	345.08	326.69	335.88
IV	10.30	13.46	23.76	191.74	293.03	217.06

表 4 研究区各林分枯落物拦蓄能力

枯落物层	林分类型	枯落物风干重/(t · hm <sup>-2</sup> )	自然含水率/%	最大拦蓄率/%	有效拦蓄率/%	最大拦蓄量/(t · hm <sup>-2</sup> )	有效拦蓄量/(t · hm <sup>-2</sup> )
未分解层	I	9.42	25.11	382.55	321.40	36.02	30.27
	II	7.36	22.87	342.99	288.11	25.24	21.20
	III	3.94	21.80	323.28	271.52	12.75	10.71
	IV	5.37	9.81	181.92	149.77	8.35	6.88
半分解层	I	8.90	31.92	286.26	238.53	25.49	21.24
	II	11.38	27.41	224.02	186.31	25.50	21.21
	III	7.19	26.43	300.26	251.26	21.60	18.07
	IV	4.59	13.20	279.83	235.87	15.03	12.67

3.2.3 枯落物持水量与浸水时间的关系 如图 1 可知, 各林分枯落物总持水量变化规律大体相似。随着枯落物浸泡时间逐渐增加, 单位时间内的持水量逐渐减少。未分解层持水量由大到小表现为: I > II > III > IV, 在半分解层中: I > III > IV > II。

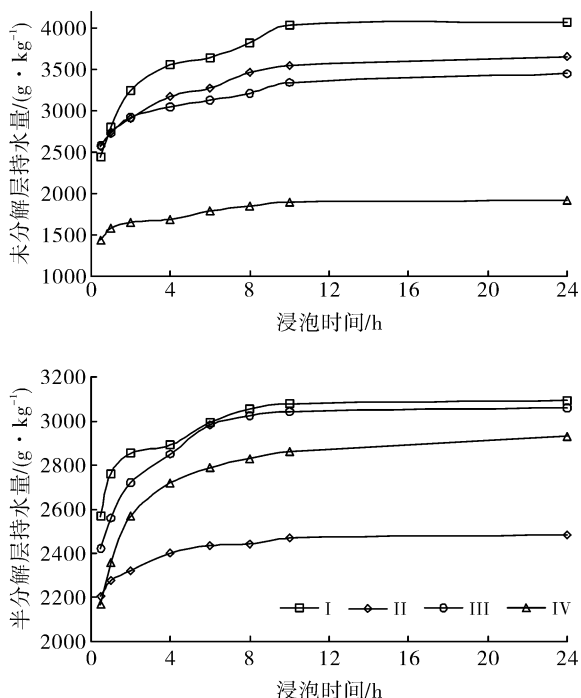


图 1 研究区各林分枯落物持水量与浸水时间的关系

在浸泡初期 2 h 内随着浸水时间的增加, 曲线呈上升趋势, 表明枯落物正处于快速吸水的阶段, 浸水时间越久, 曲线趋于平缓, 表明枯落物持水量逐渐稳定接近饱和。半分解层枯落物持水在 6 h 左右基本达到饱和状态, 之后随着浸泡时间的推移, 持水量基本未发生较明显的变化; 而未分解层枯落物持水在浸泡 6 h 后仍继续增加, 在 12 h 左右出现饱和状态, 这表明未分解层持水能力强于半分解层。

对各林分不同分解层次枯落物在 0.5~24 h 的持水量与浸泡时间关系进行回归分析, 可知林分枯落物各层持水量与浸泡时间均满足对数关系(表 5), 可得出持水量和浸泡时间的关系式:

$$Q = a \ln(t) + b \quad (3)$$

式中:  $Q$ —枯落物持水量(g/kg);  $t$ —浸泡时间(h);  $a$ —系数;  $b$ —常数项。

3.2.4 枯落物吸水速率与浸水时间的关系 由图 2 可知: 各林分枯落物在浸泡 1 h 内吸水速率最大, 随后吸水速率显著降低, 4~6 h 时, 吸水速率逐渐减小, 浸泡 24 h 时吸水速率趋向于 0, 说明此时枯落物吸水基本达到饱和。I 枯落物未分解层和半分解层吸水速率在各林分之间始终保持最大。对各林分未分解层和半分解层枯落物的吸水速率与浸水时间的关系进行拟合方程, 得出吸水速率和浸泡时间之间的

拟合模型(表 5)为:

$$V = ae^{bt} \quad (4)$$

式中:  $V$ ——枯落物吸水速度  $[g/(kg \cdot h)]$ ;  $t$ ——浸

泡时间(h);  $a, b$ ——常数。可以看出,各层吸水速率与浸水时间均满足指数关系,相关系数均大于 0.98,拟合效果比较好。

表 5 研究区各林分枯落物持水量与浸水时间的关系式

林分类型	枯落物层	持水量与浸泡时间		持水率与浸泡时间	
		关系式	相关系数 R	关系式	相关系数 R
I	未分解层	$Q=828.28\ln(t)+2355.3$	0.992 8	$V=6540.6e^{-0.443t}$	0.987 1
	半分解层	$Q=257.49\ln(t)+2571.0$	0.995 0	$V=6773.6e^{-0.485t}$	0.984 8
II	未分解层	$Q=547.33\ln(t)+2442.9$	0.975 6	$V=6591.8e^{-0.463t}$	0.985 1
	半分解层	$Q=141.74\ln(t)+2191.6$	0.993 1	$V=5803.0e^{-0.496t}$	0.986 6
III	未分解层	$Q=413.25\ln(t)+2505.5$	0.980 4	$V=6708.3e^{-0.474t}$	0.985 7
	半分解层	$Q=339.78\ln(t)+2382.5$	0.979 1	$V=6251.2e^{-0.471t}$	0.985 4
IV	未分解层	$Q=234.72\ln(t)+1415.8$	0.987 9	$V=3800.8e^{-0.475t}$	0.985 2
	半分解层	$Q=378.54\ln(t)+2151.2$	0.993 1	$V=5872.9e^{-0.475t}$	0.988 3

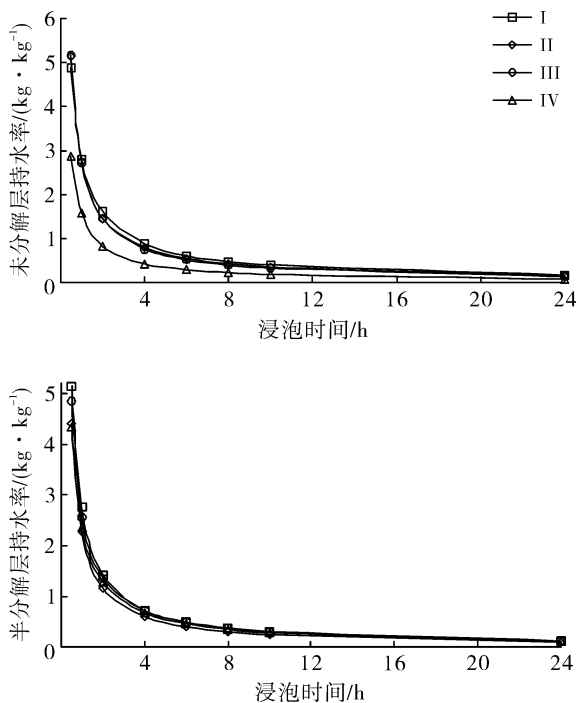


图 2 研究区各林分枯落物持水速率与浸水时间的关系

### 3.3 土壤水文效应

3.3.1 土壤容重与孔隙度 森林的水土保持能力不仅取决于枯落物,且与森林土壤的水源涵养能力有着密切的联系,土壤主要的物理性状包括土层的厚度、土壤容重和孔隙度(总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度)等指标<sup>[19]</sup>。

土壤容重的大小能够反映出土壤孔隙状况和压实程度。从表 6 中可看出, I 土壤容重最大, IV 最小,土壤总孔隙度变化规律表现为: III > I > II > IV, 土壤孔隙度随着土层的厚度增加呈现减少的趋势,毛管孔隙度与总孔隙度变化规律基本相同。非毛管孔隙度

越大,土壤有效水的储量也随之增大。非毛管孔隙度呈现的规律为: I > III > II > IV, 这可能是由于水土保持林枯落物在土壤表面堆积以及植被根系发育在不同程度上改善了土壤的结构组成,故土壤的非毛管孔隙度大于荒坡。非毛管孔隙度越高说明该林分土壤透气性和透水性越好,便于水分下渗,有效缓解地表径流,促进水源涵养作用<sup>[20]</sup>。

3.3.2 土壤持水能力 土壤层是水分涵养的重要层次,土壤持水量是反映水文效应的重要指标。土壤持水能力与其孔隙度密切相关,土壤越疏松,容重越小,孔隙度越大,土壤通气性和透水性越强。最大持水量反映了土壤的总蓄水能力,而有效持水量反映了土壤水分的调节能力。从表 6 可以看出:不同林分类型最大持水量均值大小排序为: I > III > II > IV, I 的土壤持水能力最强。各林分土壤有效持水量均值介于 89.37~106.85 t/hm<sup>2</sup>,与非毛管孔隙度成正相关关系,这是由于非毛管孔隙度的高低决定了土壤有效持水量的大小。

## 4 结论

(1) 各林分枯落物总蓄积量范围在 9.96~19.19 t/hm<sup>2</sup>, II 蓄积量最大, IV 蓄积量最小,不同分解层储量总体表现为半分解层大于未分解层。枯落物蓄积量与枯落物层厚度密切相关,同时受树种组成、林分郁闭度等因素的影响。

(2) 各林分林下枯落物持水量与浸泡时间呈明显对数关系 ( $R > 0.97$ )。枯落物吸水速率与浸泡时间呈明显幂函数关系 ( $R > 0.98$ )。通过对各林分枯落物最大持水量和有效拦蓄量的研究, I, II, III 明显大于 IV, 水土保持林枯落物的持水能力远大于荒坡。

(3) 林分类型 I 的土壤毛管孔隙度最大, IV 的毛管孔隙度最小, 而非毛管孔隙度呈现的规律为: 林分类型 I > III > II > IV, 说明各水土保持林土壤透气性和透水性优于荒坡, 便于水分下渗, 有效缓解地表径

流, 促进水源涵养作用。林分类型 I, II, III 土壤最大持水量和有效水的储量均大于 IV, 可见水土保持林的建设对于增强该区土壤蓄水能力和水分调节能力起着重要的作用。

表 6 各林分土壤物理性质

林分类型	土层厚度/cm	土壤容重/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	土壤总 孔隙度/%	毛管孔隙度/ %	非毛管 孔隙度/%	最大持水量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	有效持水量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )
I	0—5	1.43	44.16	31.17	19.85	220.79	64.96
	5—10	1.57	42.44	28.72	16.70	212.18	68.57
	10—20	1.63	43.91	29.80	14.12	439.14	141.18
	均值	1.55	43.50	29.89	16.89	290.70	91.57
II	0—5	1.25	43.90	26.80	17.10	219.50	85.48
	5—10	1.26	42.87	25.67	17.20	214.36	86.01
	10—20	1.29	38.88	23.80	15.09	388.82	150.86
	均值	1.34	42.29	26.54	16.57	278.34	103.48
III	0—5	1.17	49.76	29.91	19.85	248.80	99.24
	5—10	1.29	42.47	25.78	16.70	212.36	83.48
	10—20	1.32	39.05	25.27	13.78	390.55	137.82
	均值	1.26	43.76	26.99	16.78	283.90	106.85
IV	0—5	1.04	44.22	28.17	16.05	221.10	80.24
	5—10	1.21	39.67	25.22	14.45	198.33	72.25
	10—20	1.16	31.96	20.40	11.56	319.65	115.62
	均值	1.14	38.62	24.60	14.02	246.36	89.37

[ 参 考 文 献 ]

- [1] 孙一荣, 朱教君, 于立忠, 等. 森林枯落物的水源涵养功能[C]//中国环境科学学会学术年会论文集. 武汉: 中国环境科学学会, 2009: 619-626.
- [2] 彭玉华. 老虎岭库区不同林型凋落物特征[J]. 中国水土保持, 2015(6): 56-59.
- [3] Tamai K, Abe T, Araki M, et al. Radiation budget, soil heat flux and latent heat flux at the forest floor in warm, temperate mixed forest[J]. Hydrological processes, 1998, 12(13/14): 2105-2114.
- [4] 沈盈佳, 曾建军. 保山北庙水库集水区 5 种森林类型枯落物持水特性研究[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(1): 43-48.
- [5] 张淑兰, 张海军, 张武, 等. 小兴安岭不同森林类型枯落物储量及其持水特性比较[J]. 水土保持通报, 2015, 35(4): 85-90.
- [6] 徐娟, 余新晓. 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.
- [7] 张雷燕, 刘常富, 王彦辉, 等. 宁夏六盘山南侧森林枯落物及土壤的水文生态功能研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(1): 15-20.
- [8] Sato Y, Kumagai T, Kume A, et al. Experimental analysis of moisture dynamics of litter layers: The effects of rainfall conditions and leaf shapes[J]. Hydrological Processes, 2004, 18(16): 3007-3018.
- [9] 韩友志, 邢兆凯, 顾宇书, 等. 浑河上游白桦冷杉等 4 种林分枯落物储量及持水特性[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(11): 15-18.
- [10] 贾剑波, 刘文娜, 余新晓, 等. 半城子流域 3 种林地枯落物的持水能力[J]. 中国水土保持学报, 2015, 13(6): 26-32.
- [11] Zhang Deqiang, Hui Dafeng, Luo Yiqi, et al. Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: Global patterns and controlling factors[J]. Journal of Plant Ecology, 2008, 1(2): 85-93.
- [12] 贾黎明, 方陆明, 胡延杰. 杨树刺槐混交林及纯林枯落叶分解[J]. 应用生态学报, 1998, 9(5): 463-467.
- [13] 李强, 周道玮, 陈笑莹. 地上枯落物的累积、分解及其在陆地生态系统中的作用[J]. 生态学报, 2014, 34(14): 3807-3819.
- [14] Berg B, Steffen K T, McLaugherty C. Litter decomposition rate is dependent on litter Mn concentrations[J]. Biogeochemistry, 2007, 82(1): 29-39.
- [15] 潘春翔, 李裕元, 彭亿, 等. 湖南乌交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.
- [16] 鲁绍伟, 陈波, 潘清华, 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.
- [17] 赵雨森, 韩春华, 张宏光, 等. 阿什河上游小流域主要林分类型土壤水文功能研究[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 203-208.
- [18] 饶良懿, 朱金兆, 毕华兴. 重庆四面山森林枯落物和土壤水文效应[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 33-37.
- [19] 赵建生, 王永明, 杨新兵. 冀北山地森林土壤水文效应研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(3): 201-205.
- [20] 陈东莉, 郭晋平, 杜宁宁. 间伐强度对华北落叶松林下生物多样性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(4): 37-38.