

北京九龙山不同林分枯落物及土壤水文效应

吴迪¹, 辛学兵^{1*}, 赵明扬¹, 裴顺祥¹, 孔颖²

(1. 中国林业科学研究院华北林业实验中心, 北京 102300; 2. 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714)

摘要:对北京九龙山油松、侧柏、黄栌3种纯林的枯落物层水文效应和土壤水分效应进行研究,结果表明:黄栌林分的枯落物总蓄积量最大,为 $13.15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,其次为油松和侧柏,分别为 12.50 、 $9.53 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$;黄栌的最大持水量和有效拦蓄量最大,分别为 28.73 、 $23.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$;侧柏的最小,分别为 12.67 、 $10.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。未分解层和半分解层枯落物持水量分别在浸泡10 h后和8 h后达到饱和,二者的吸水速率均在浸泡2 h内最大,4 h后趋于平稳。不同层次枯落物持水量、吸水速率与浸泡时间均存在较好的函数关系;3个林地的土壤密度均值最大的为侧柏($1.30 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$),其次为油松和黄栌,分别为 1.23 、 $1.08 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$;黄栌的总孔隙度最大,为 49.63% ,其次为油松和侧柏,分别为 49.49% 、 47.44% ;侧柏林地的土壤有效持水量最大,为 $96.53 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,其次为黄栌和油松,分别为 88.23 、 $69.00 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。对入渗速率与入渗时间进行拟合分析,二者呈幂函数关系,其相关系数 R^2 值均在0.90以上。

关键词:枯落物;森林土壤;水文效应;九龙山

中图分类号: S715

文献标识码: A

Hydrological Effects of Litters and Soil under Different Forests in Jiulongshan of Beijing

WU Di¹, XIN Xue-bing¹, ZHAO Ming-yang¹, PEI Shun-xiang¹, KONG Ying²

(1. Forestry Experiment Center of North China, Chinese Academy of Forestry, Beijing 102300, China;

2. Academy of Forest Inventory and Planting, State Forestry Administration, Beijing 100714, China)

Abstract: The hydrological effects of litter layer and soil water of three kinds of pure forest stands in Jiulongshan were studied. The results showed that the total litter storage capacity of *Cotinus coggygria* pure forest was the largest ($13.15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), followed by *Pinus tabuliformis* pure forest ($12.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), while that of *Platycladus orientalis* pure forest ($9.53 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) was the minimum. The maximum water-holding capacity and the modified interception amount of *C. coggygria* pure forest were $28.73 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $23.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ respectively, while that of *P. orientalis* pure forest were only $12.67 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $10.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ respectively. The water-holding capacity of undecomposed litter got saturated in 10 hours, while the duration of semi-decomposed litter was 8 hours. The water absorption rate of the litter in undecomposed and semi-decomposed layers kept the highest for the initial 2 hours, and got stabilized after 4 hours. The water-holding capacity and immersion time of different litter layers followed a functional relation, so as the litter layers water absorption rate and the immersion time. The average soil bulk densities of *P. orientalis* pure forest, *P. tabuliformis* pure forest and *C. coggygria* pure forest were $1.30 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, $1.23 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, and $1.08 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ respectively. The total soil porosities of *C. coggygria* pure forest, *P. tabuliformis* pure forest and *C. coggygria* pure forest were 49.63% , 49.49% , and 47.44% respectively. The soil effective water-holding capacities of, *P. orientalis* pure forest, *P. tabuliformis* pure forest and *C. coggygria* pure forest were 96.53

收稿日期: 2013-06-04

基金项目: 国家“十二·五”林业科技支撑计划项目“黄土及华北石质山地水土保持林体系构建技术与示范”(2011BAD38B06)

作者简介: 吴迪(1986—),女,硕士生.研究方向:人工林生态系统结构与功能. E-mail:wudi1218edu@163.com

* 通讯作者:副研究员.研究方向:森林培育、森林生态等方面研究. E-mail:xinxb01@163.com

$t \cdot \text{hm}^{-2}$, $88.23 t \cdot \text{hm}^{-2}$, and $69.00 t \cdot \text{hm}^{-2}$. The relationship between soil infiltration rate and infiltration time was studied by fitting analysis, and the results showed that the relationship could be described by using the power function and all values of R^2 were greater than 0.90.

Key words: litters; forest soil; hydrological effect; Jiulongshan

九龙山地处北京西郊的门头沟区,山体呈“V”字型围绕于门头沟城区的南、西、北三面,山地的森林植被发挥了涵养水源、保持水土及美化环境等多种生态功能。九龙山进行封山育林始于20世纪60年代,并且营造了大面积的人工林,构成了以人工森林和灌丛为主的植被类型^[1]。90年代初,对九龙山区的森林植被水文功能的研究才逐步展开,部分学者^[2-4]对该区森林植被水文功能的研究主要集中在人工幼林和灌木林,尤以灌木林为主。森林的水源涵养能力因树种生物学特性、林分结构等因素的不同存在明显差异^[5-6]。森林枯落物和土壤的水分贮蓄能力是发挥森林涵养水源和保持水土功能的重要水文参数^[7]。枯落物对林内降水有效转化为土壤水分有着复杂而重要的作用,林地土壤是天然的大水库和水分调节器^[8]。据研究^[9],在森林三个水文作用层中,林地枯落物层和土壤层拦蓄水量能占到森林总体水源涵养量的80%以上。本研究选取林龄相同的侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)和黄栌(*Cotinus coggygria* Scop.)3种人工纯林林分,对其林地枯落物层和土壤层水文效应进行定量研究,旨在为该地区的林地水分管理提供一定的理论依据。

1 研究区概况

研究区位于太行山系东部北段的北京门头沟区

表1 3种林分样地的基本概况

林分类型	海拔/m	坡度/(°)	坡向	土壤厚度/cm	郁闭度	平均树高/m	平均胸径/cm	林龄/a	密度/(株·hm ⁻²)
侧柏纯林	264	27	NE85°	30	0.75	8.7	9.3	47	3 110
油松纯林	300	35	NE10°	32	0.65	5.1	11.3	47	2 100
黄栌纯林	171	25	NE20°	34	0.80	4.5	10.4	47	2 200

2 研究方法

2.1 枯落物蓄积量的调查方法

在3种林分的样地内,分别在林型坡面的上、中、下部随机布设3个0.5 m×0.5 m的样方,测定样方内枯落物层厚度,并按未分解层和半分解层分层取样称其在自然状态下的质量。将所提取的枯落物各组分样品带回室内置于烘箱中,在75℃下烘干

九龙山(39°57'N,116°4'E),最高峰位于西部刺玫花坨,海拔997 m。气候属典型暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温11.8℃,年平均降水量623.0 mm,降水主要集中在6—9月,年均蒸发量1 870 mm,无霜期216 d。土壤为山地褐土,植被以人工森林和灌丛为主,3种纯林林下灌草种类有三裂绣线菊(*Spiraea trilobata* Linn.)、臭椿(*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle)、构树(*Broussonetia papyifera* (Linn.) L' Hert ex Vent.)、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)、酸枣(*Ziziphus jujuba* Mill. var. *spinosa* (Bge.) Hu ex H. F. Chow.)、榆树(*Ulmus pumila* Linn.)、鼠李(*Rhamnus davurica* Pall.)、栓皮栎(*Quercus variabilis* Blume)、荆条(*Vitex negundo* Linn. var. *heterophylla* (Franch.) Rehd.)、红花锦鸡儿(*Caragana rosea* Turcz. ex Maxim.)、爬山虎(*Parthenocissus semicordata* (Wall.) Planch.)、葶草(*Arthraxon hispidus* (Thunb.) Makino)、矮丛苔草(*Carex callitrichos* V. Krecz var. *nana* (Levl. et Vant.) Ohwi)等。

2012年5月6—10日在九龙山布设侧柏、油松、黄栌3种人工纯林标准样地,样地面积20 m×20 m,每种林分类型样地设置3块,调查记录样地立地因子,3种林分标准样地基本情况见表1。

至恒定质量后称质量,统计各样地枯落物蓄积量并计算枯落物的自然含水率(其为采样时的含水率,且采样的前3 d以上均无降雨),计算公式如下:

$$R_0 = (M_0 - M_d) / M_d \times 100\% \quad (1)$$

式中: R_0 为枯落物自然含水率(%), M_0 为枯落物样品自然状态下的初始质量(g), M_d 为枯落物样品烘干的质量(g)。

2.2 枯落物持水性能的测定

枯落物的持水量及吸水速率采用室内浸泡法进行测定。将烘干后的各组分枯落物样品装入尼龙网袋浸入水中后,分别在 0.15、0.5、1、2、4、6、8、10、24 h 测定枯落物吸水后的质量,通过计算可求得在这几个时间段内的持水量和吸水速率。一般认为浸泡 24 h 的枯落物已经达到饱和,达到最大持水量,而吸水速率则趋于稳定^[10]。据研究^[11]可知,当降水量达到 20~30 mm 后,不论何种植被类型的枯落物层含水量的高低,其实际持水率约为最大持水率的 85% 左右;所以,为了更接近实际的拦蓄降水量,采用调整系数 0.85 进行枯落物层有效拦蓄量的估算,计算公式如下:

$$R_m = (M_{24} - M_d) / M_d \times 100\% \quad (2)$$

$$R_{sv} = 0.85R_m - R_0 \quad (3)$$

$$W_m = M \times R_m \quad (4)$$

$$W_{sv} = M \times R_{sv} \quad (5)$$

$$W_{msv} = (R_m - R_0)M \quad (6)$$

式(2)~(6)中: R_0 、 R_m 、 R_{sv} 分别为枯落物自然含水率(%)、最大持水率(%)和有效拦蓄率(%); M_d 、 M_{24} 分别为枯落物样品烘干的质量(g)和浸泡 24 h 后的质量(g); W_m 、 W_{sv} 、 W_{msv} 、 M 分别为枯落物层最大持水量($t \cdot hm^{-2}$)、有效拦蓄量($t \cdot hm^{-2}$)、最大拦蓄量($t \cdot hm^{-2}$)和枯落物蓄积量($t \cdot hm^{-2}$)。

2.3 土壤物理性质的测定

在 3 种林分的标准样地内选取代表性样点,挖取土壤剖面,分别按 0~10、10~20、20~30 cm 土层取样,每个组合进行 3 次重复。采用 100 cm³ 的标准环刀进行土壤含水量、土壤孔隙度和土壤密度的测定,具体的测定及计算方法参照中华人民共和国林业行业标准《森林土壤水分-物理性质的测

定》(LY/T 1215—1999)。采用公式^[12](7)~(9)计算土壤有效持水量($W_0, t \cdot hm^{-2}$)、毛管持水量($W_c, t \cdot hm^{-2}$)和饱和持水量($W_l, t \cdot hm^{-2}$)。

$$W_0 = 10\,000P_0h \quad (7)$$

$$W_c = 10\,000P_ch \quad (8)$$

$$W_l = W_0 + W_c \quad (9)$$

式(7)~(9)中: P_0 、 P_c 分别为土壤非毛管孔隙度(%)和毛管孔隙度(%); h 为土层厚度(m)。

2.4 土壤入渗测定

在林分的标准样地内,采用自制双环(规格:内外环直径分别为 15、25 cm,高 25 cm)进行现场贮水方法测定。将内、外环同时垂直砸入土壤中 10 cm,向双环的内外环中注水,并使水面保持在 10 cm 高度,利用放置于内环中的标尺读取在单位时间内所消耗的水量^[13]。每个林地作 3 个重复的入渗性能试验,取其平均值进行统计分析。表层土壤的初渗速率、稳渗速率的计算方法参照中华人民共和国林业行业标准《森林土壤渗透率的测定》(LY/T 1218—1999)。

本文数据处理均使用 MATLAB2012a 完成^[14]。

3 结果与分析

3.1 3 种林分的枯落物蓄积量

由表 2 可知:3 种林分枯落物的总蓄积量存在差异,黄栌最大,为 13.15 $t \cdot hm^{-2}$,其次是油松和侧柏,分别为 12.50、9.53 $t \cdot hm^{-2}$ 。油松枯落物未分解层蓄积量占总蓄积量的比例最大,为 67.60%,其次是黄栌,为 63.80%,侧柏最小,为 59.39%;半分解层蓄积量占总蓄积量的比例则相反,但 3 种林分中未分解层蓄积量均大于半分解层。

表 2 3 种林分的枯落物蓄积量及比例

林分类型	枯落物层总厚度/mm	枯落物总蓄积量/ $(t \cdot hm^{-2})$	未分解层		半分解层	
			枯落物蓄积量/ $(t \cdot hm^{-2})$	比例/%	枯落物蓄积量/ $(t \cdot hm^{-2})$	比例/%
侧柏纯林	16	9.53	5.66	59.39	3.87	40.61
油松纯林	40	12.50	8.45	67.60	4.05	32.40
黄栌纯林	33	13.15	8.39	63.80	4.76	36.20

3.2 3 种林分枯落物水文效应

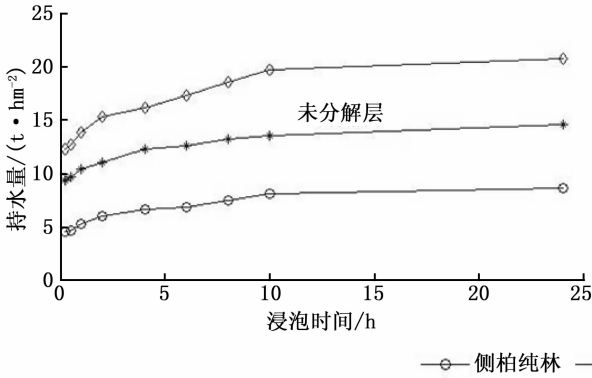
3.2.1 枯落物最大持水量 由表 3 可知:3 种林分枯落物的最大持水量和最大持水率均存在差异,但这 2 个指标的变化规律相似。黄栌的最大持水量和最大持水率均最大,分别为 28.73 $t \cdot hm^{-2}$ 和 207.79%,侧柏的最小,分别为 12.67 $t \cdot hm^{-2}$ 和

128.51%。这是因为黄栌林地的枯落物蓄积量最大,且枯落物分解程度较高,半分解层枯落物的蓄积量较大,所以黄栌枯落物层的最大持水量最大。因此,在本次试验中阔叶树枯落物的持水量高于针叶树,这与饶良懿等^[15]的研究结果相同。

表 3 3 种林分不同层次枯落物最大持水量及最大持水率

林分类型	最大持水量/(t·hm ⁻²)			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
侧柏纯林	8.61	4.06	12.67	152.15	104.86	128.51
油松纯林	14.70	5.60	20.30	173.95	138.39	156.17
黄栌纯林	20.69	8.04	28.73	246.66	168.91	207.79

3.2.2 枯落物持水动态变化 由图 1 可知:枯落物在浸泡 0~2 h 内,持水量增加迅速,而后随浸泡时



间的延长,增加速度较初始浸泡时明显减缓,半分解层枯落物持水量在浸泡 8 h 后基本达到饱和,而未分解层则在 10 h 后接近饱和状态。通过回归分析得出枯落物持水量与浸泡时间的关系表达式为:

$$Q = a \ln t_1 + b \quad (10)$$

式中: Q 为枯落物持水量($t \cdot \text{hm}^{-2}$); t_1 为浸泡时间(h); a 、 b 均为待估参数。

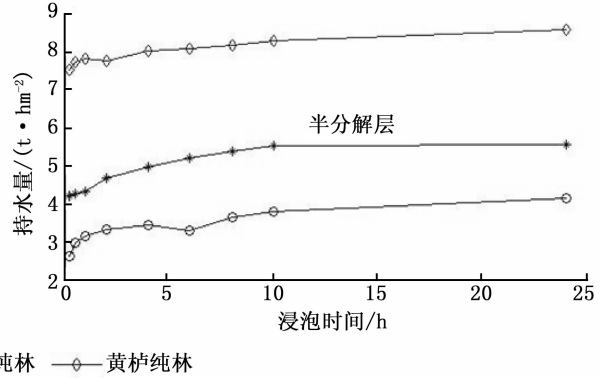


图 1 3 种林分的枯落物层持水量与浸泡时间的关系

图 2 所示:枯落物的吸水速率随浸泡时间的延长而减小,表现出反“J”字型规律,在最初浸泡时未分解层和半分解层的吸水速率都较大。枯落物在前 0.5 h 吸水速率达到最大值,并且在前 4 h 内吸水速率下降的最快,4 h 后逐渐变缓,直至趋停。枯落物在初始浸泡时吸水速率相差较大,之后随着浸泡时间的延长,枯落物吸水速率趋于一致。3 种林分枯落物的吸水速率与浸泡时间呈幂函数关系,表达式为:

$$V = kt_1^n \quad (11)$$

为方程系数; t_1 为浸泡时间(h); n 为指数。

3 种林分的枯落物持水量、吸水速率与浸泡时间的关系表达式见表 4。

3.2.3 枯落物拦蓄能力 由表 5 可知:3 种林分枯落物的有效拦蓄率和有效拦蓄量在未分解层和半分解层中的变化规律一致,均是黄栌 > 油松 > 侧柏,产生这种结果主要是由于不同林分不同层次枯落物的厚度和蓄积量不同。从 3 种林分枯落物层次拦蓄降水的变化规律可知:黄栌纯林对降水的拦蓄能力最强,油松纯林次之,侧柏纯林最弱。

式中: V 为枯落物吸水速率($t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); k

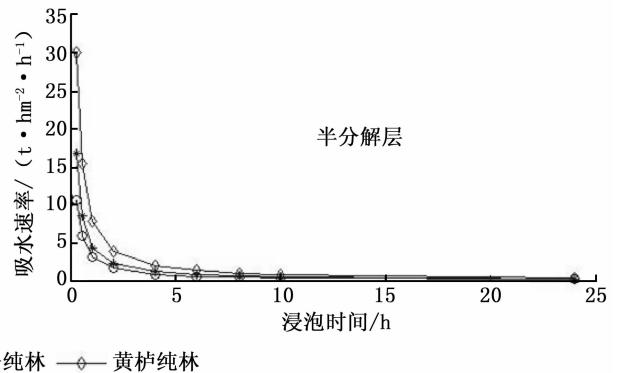
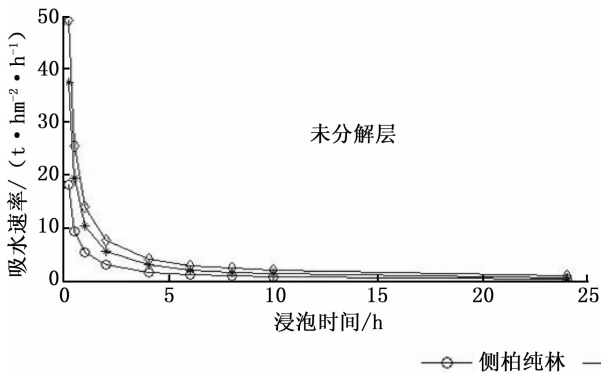


图 2 3 种林分的枯落物吸水速率与浸泡时间的关系

表4 3种林分枯落物层持水量、吸水速率与浸泡时间的关系式

枯落物层	林分类型	持水量与浸泡时间的关系式	R^2	吸水速率与浸泡时间的关系式	R^2
未分解层	侧柏纯林	$Q = 0.967 5 \ln(t) + 5.462 4$	0.965 5	$V = 5.376 9 t^{-0.844 3}$	0.999 2
	油松纯林	$Q = 1.217 2 \ln(t) + 10.601 9$	0.984 0	$V = 10.524 3 t^{-0.895 5}$	0.999 9
	黄栌纯林	$Q = 1.989 6 \ln(t) + 14.220 4$	0.963 4	$V = 14.078 3 t^{-0.874 6}$	0.999 6
半分解层	侧柏纯林	$Q = 0.287 1 \ln(t) + 3.086 1$	0.911 5	$V = 3.069 6 t^{-0.915 4}$	0.999 3
	油松纯林	$Q = 0.353 5 \ln(t) + 4.537 1$	0.945 7	$V = 4.521 2 t^{-0.928 4}$	0.999 7
	黄栌纯林	$Q = 0.204 9 \ln(t) + 7.781 5$	0.907 3	$V = 7.776 3 t^{-0.973 2}$	0.999 9

表5 3种林分不同层次枯落物拦蓄能力

枯落物层	林分类型	自然含水率/%	最大持水率/%	最大拦蓄率/%	最大拦蓄量/($t \cdot \text{hm}^{-2}$)	有效拦蓄率/%	有效拦蓄量/($t \cdot \text{hm}^{-2}$)
未分解层	侧柏纯林	6.99	152.15	145.16	8.22	122.34	6.92
	油松纯林	9.37	173.95	164.58	13.91	138.49	11.70
	黄栌纯林	8.10	246.66	238.56	20.02	201.56	16.91
半分解层	侧柏纯林	5.08	104.86	99.78	3.86	84.05	3.25
	油松纯林	8.62	138.39	129.77	5.26	109.01	4.41
	黄栌纯林	12.09	168.91	156.82	7.46	131.48	6.26

3.3 3种林地土壤水文效应

3.3.1 土壤物理性质 由表6可知:3种林地的土壤密度均值同土壤总孔隙度均值总体变化趋势相反。从0~30 cm土层来看,土壤密度总体变化趋势是随土层深度的增加而增大,这主要是因为随着土层深度的增加,土壤中有机质含量逐渐减少,土壤团聚性降低,从而增加了土壤的紧实度。通过对比可见,黄栌纯林的土壤结构性能更好。土壤毛管孔隙度均值最大的是油松纯林,为42.59%,其次为黄栌、侧柏,分别为40.81%和37.79%。土壤毛管孔

隙度大,有利于土壤吸持存储水量,对于树木维持自身生长和根系吸水具有很大的益处。侧柏纯林的土壤非毛管孔隙度均值最大,为9.65%,其次为黄栌、油松,分别为8.82%和6.90%。土壤非毛管孔隙度大,有利于土壤通气透水,对于降水下渗和减少表土流失具有重要作用。3种林地的土壤持水量不同,饱和持水量最大的为黄栌纯林,为496.33 $t \cdot \text{hm}^{-2}$,其次为油松、侧柏,分别为494.90、474.40 $t \cdot \text{hm}^{-2}$;有效持水量为侧柏纯林最大,为96.53 $t \cdot \text{hm}^{-2}$,其次为黄栌、油松,分别为88.23、69.00 $t \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

表6 3种林地的土壤水分物理性状

林分类型	土层厚度/cm	土壤密度/($g \cdot \text{cm}^{-3}$)	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	饱和持水量/($t \cdot \text{hm}^{-2}$)	毛管持水量/($t \cdot \text{hm}^{-2}$)	有效持水量/($t \cdot \text{hm}^{-2}$)
侧柏纯林	0~10	1.16	54.76	45.03	9.73	547.60	450.30	97.30
	10~20	1.35	45.80	33.80	12.00	458.00	338.00	120.00
	20~30	1.39	41.76	34.53	7.23	417.60	345.30	72.30
	均值	1.30	47.44	37.79	9.65	474.40	377.87	96.53
油松纯林	0~10	1.18	48.00	41.87	6.13	480.00	418.70	61.30
	10~20	1.26	49.83	41.93	7.90	498.30	419.30	79.00
	20~30	1.26	50.64	43.97	6.67	506.40	439.70	66.70
	均值	1.23	49.49	42.59	6.90	494.90	425.90	69.00
黄栌纯林	0~10	1.00	51.70	40.27	11.43	517.00	402.70	114.30
	10~20	1.15	50.20	43.53	6.67	502.00	435.30	66.70
	20~30	1.08	47.00	38.63	8.37	470.00	386.30	83.70
	均值	1.08	49.63	40.81	8.82	496.33	408.10	88.23

3.3.2 土壤入渗速率 由表7可知:3种林地的土壤初渗速率差别较大,黄栌纯林的初渗速率为51.99 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$,而侧柏纯林的初渗速率只有28.93 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。土壤入渗速率随时间的增加而逐渐减慢,直至趋于稳渗,稳渗速率为2.47~4.46 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。除侧柏纯林在30 min达到稳渗外,黄栌和油松纯林均在20 min达到稳渗。从初渗速率

的数值大小和达到稳渗的时间可以看出,黄栌林地的土壤入渗能力最强,侧柏林地最弱。对土壤入渗时间和入渗速率进行拟合分析,得出二者之间存在较好的幂函数关系,表达式(表7)为:

$$y = at_2^{-b}, R^2 > 0.90 \quad (12)$$

式中: y 为入渗速率($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$); t_2 为入渗时间(min); a 、 b 均为常数。

表7 3种林地土壤入渗速率及拟合方程

林分类型	初渗速率/(mm·min ⁻¹)	稳渗速率/(mm·min ⁻¹)	稳渗时间/min	回归方程	R ²
侧柏纯林	28.93	4.46	30	$y = 11.809 0t^{-0.325 0}$	0.907 8
油松纯林	40.98	2.47	20	$y = 10.910 9t^{-0.500 9}$	0.966 4
黄栌纯林	51.99	3.09	20	$y = 13.213 2t^{-0.566 6}$	0.958 7

4 结论与讨论

(1)北京九龙山黄栌纯林的蓄积量最大,为13.15 t·hm⁻²,侧柏纯林的蓄积量最小,为9.53 t·hm⁻²;各层次蓄积量所占比例不同,未分解层油松纯林占总蓄积量的比例最大,为67.60%,侧柏纯林占总蓄积量的比例最小,为59.39%。

(2)3种林分枯落物层的最大持水量和最大持水率均为黄栌纯林最大,侧柏纯林最小。通过拟合分析3种纯林林分不同层次枯落物持水过程及吸水速率,得出持水量与浸泡时间二者的关系符合 $Q = a \ln t_1 + b$,吸水速率与浸泡时间之间的关系为 $V = kt_1^n$,与胡淑萍等^[16]和程金花等^[10]的研究结果相似。3种林分枯落物的拦蓄能力不同,有效拦蓄量均为未分解层大于半分解层,与张振明等^[17]的研究结果相似。总的来看,拦蓄能力为黄栌纯林最强,未分解层和半分解层的总拦蓄能力为23.17 t·hm⁻²。

(3)在3种林地中,土壤密度均值最大的是侧柏纯林,为1.30 g·cm⁻³,黄栌纯林最小,为1.08 g·cm⁻³。土壤总孔隙度为黄栌纯林最大,为49.63%,侧柏纯林最小,为47.44%。3种林地的土壤持水量不同,10 cm土层厚度的饱和持水量最大的为黄栌纯林,其次为油松、侧柏。从有效持水量角度来看,10 cm土层厚度的有效持水量为侧柏纯林最大,其次为黄栌、油松,同周择福等^[18]的研究结果趋同,有效持水量大,对于地表径流的调节、土壤有效水分的增加、降低雨水的无效损失以及减少表层土壤的流失具有一定的作用。

(4)在3种林地中,黄栌林地的土壤入渗能力最强,侧柏林地最弱,这可能与土壤密度有很密切关系。有研究表明,土壤密度与土壤渗透性呈极显著负相关,即土壤密度越大,土壤的渗透性越差^[19]。土壤入渗能力强可使降水很快入渗并贮存于土壤中,否则,则以地表径流流失^[20]。

参考文献:

[1] 李清河,杨立文,崔丽娟. 北京九龙山封育植被群落变化的研究

[J]. 林业科学研究,2002,15(3):323-331

- [2] 张理宏,李昌哲,杨立文. 北京九龙山林地对降雨的调蓄功能[J]. 林业科学研究,1994,7(2):162-167
- [3] 刘创民,李昌哲,张理宏,等. 北京九龙山森林植被涵养水源效能多层次模糊综合评判[J]. 吉林林学院学报,1995,11(1):48-52
- [4] 张理宏,李昌哲,杨立文. 北京九龙山林地土壤水分动态研究[J]. 林业科学研究,1992,5(3):367-370
- [5] 彭明俊,郎南军,温绍龙,等. 金沙江流域不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能研究[J]. 水土保持学报,2005,19(6):106-109
- [6] 黄庆丰,高健,吴泽民. 不同森林类型土壤肥力状况及水源涵养功能的研究[J]. 安徽农业大学学报,2002,29(1):82-86
- [7] 刘世荣,孙鹏森,温远光. 中国主要森林生态系统水文功能的比较研究[J]. 植物生态学报,2003,27(1):16-22
- [8] 高甲荣,尹婧,牛健植,等. 长江上游亚高山暗针叶林林地水文作用初探[J]. 北京林业大学学报,2002,24(4):75-59
- [9] 蒋秋怡. 林木地上部分的持水性能及其对林地水文学性质的影响[J]. 浙江林学院学报,1989,6(2):176-181
- [10] 程金花,张洪江,余新晓,等. 贡嘎山冷杉纯林地地被物及土壤持水特性[J]. 北京林业大学学报,2002,24(3):45-49
- [11] 雷瑞德. 秦岭火地塘林区华山松林水源涵养功能的研究[J]. 西北林学院学报,1984,1(1):19-33
- [12] 张伟,杨新兵,张汝松,等. 冀北山地不同林分枯落物及土壤的水源涵养功能评价[J]. 水土保持通报,2011,31(3):208-212,238
- [13] 赵阳,余新晓,吴海龙,等. 华北土石山区典型森林枯落物层和土壤层水文效应[J]. 水土保持学报,2011,25(6):148-152
- [14] 谢中华. MATLAB 统计分析与应用:40个案例分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2012
- [15] 饶良懿,朱金兆,毕华兴,等. 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
- [16] 胡淑萍,余新晓,岳永杰. 北京百花山森林枯落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报,2008,22(1):146-150
- [17] 张振明,余新晓,牛健植,等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. 水土保持学报,2005,19(3):139-143
- [18] 周择福,李昌哲. 北京九龙山不同立地土壤蓄水量及水分有效性的研究[J]. 林业科学研究,1995,8(2):182-187
- [19] 刘广路,范少辉,漆良华,等. 不同类型毛竹林土壤渗透性研究[J]. 水土保持学报,2008,22(6):44-56
- [20] 谭宗健,王家彬,孙红梅,等. 中山市7种林分类型土壤涵养水源效能的初步研究[J]. 广东林业科技,2012,28(2):32-36