

生态景观林 10 种林分枯落物的水文效应

曲炳鹏¹, 王咏嘉², 李素艳¹, 孙向阳¹, 张骅¹, 负炳辉¹

[1. 北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2. 中国石油大学(北京)附属中学, 北京 110000]

摘要: [目的] 对北京市大兴区生态景观林主要造林树种林下枯落物层的持水能力进行定量研究, 为森林生态建设和水土保持工作的开展提供理论依据。[方法] 以研究区生态景观林中 10 种不同林分的枯落物层为研究对象, 采用室内浸泡法对其水文效应特征进行分析研究。[结果] 该区枯落物总蓄积量在 2.37~5.33 t/hm² 之间, 顺序依次为: 毛白杨>油松>千头椿>刺槐>国槐>银杏>金叶榆>元宝枫>旱柳>紫叶李; 最大持水量为 5.56~24.92 t/hm², 最大持水率为 208.64%~481.62%, 最大拦蓄量为 5.37~24.24 t/hm², 有效拦蓄量为 4.54~20.51 t/hm²; 10 种林分不同枯落物层的持水量与浸泡时间呈较显著的对数函数关系, 其吸水速率与浸泡时间则存在着较显著的幂函数关系。[结论] 综合比较 10 种林分枯落物的持水性能, 认为毛白杨的持水能力较好, 能够较好地涵养水源。

关键词: 生态景观林; 枯落物层; 蓄积量; 水文效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)02-0065-06

中图分类号: S715.7

文献参数: 曲炳鹏, 王咏嘉, 李素艳, 等. 生态景观林 10 种林分枯落物的水文效应[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 65-70. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.011. Qu Bingpeng, Wang Yongjia, Li Suyan, et al. Water-holding capacity of litters in ten different types of ecological landscape forest[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 65-70.

Water-holding Capacity of Litters in Ten Different Types of Ecological Landscape Forest

QU Bingpeng¹, WANG Yongjia², LI Suyan¹, SUN Xiangyang¹, ZHANG Hua¹, YUN Binghui

[1. Forestry College, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. High School Affiliated to China University of Petroleum(Beijing), Beijing 110000, China]

Abstract: [Objective] To provide theoretical basis for ecological environment construction and the work of soil and water conservation, water-holding capacities of litters were measured in different types of ecological landscape forest in Daxing District, Beijing City. [Methods] Litters in 10 types of forest were taken as the study objects, the water-holding capacities were explored by indoor soaking method. [Results] The litter storages of the 10 forests ranged from 2.37 to 5.33 t/hm², ranked as: *Populus tomentosa* > *Pinus tabulaeformis* > *Ailanthus altissima* > *Robinia pseudoacacia* > *Sophora japonica* > *Ginkgo biloba* > *Ulmus pumila* > *Acer truncatum* > *Salix matsudana* > *Prunus cerasiferacv.* The maximum water-holding capacities and rates ranged from 5.56 t/hm² to 24.92 t/hm², and from 208.64% to 481.62%; and the maximum interception amount and the effective interception amount ranged from 5.37 to 24.24 t/hm² and from 4.54 to 20.51 t/hm², respectively. Water-holding capacities of all types of litters changed logarithmically with soaking time as independent variable; whereas water absorption rates all followed power function. [Conclusion] The comprehensive analysis of water-holding capacities of the 10 forests indicated that *Populus* forest has a higher water-holding capacity and is more beneficial for water conversation.

Keywords: ecological landscape forest; litter; storage; water-holding capacity

收稿日期: 2017-09-02

修回日期: 2017-09-25

资助项目: 北京市科学技术委员会北京市科技计划项目“园林废弃物移动式热裂解装备与高值化利用技术研发及示范应用”(Z161100001316004); 北京市教育委员会科学研究与研究生培养共建项目“林业有机废弃物覆盖裸露地表控制北京城市扬尘污染的研究”(BLCXY201510)

第一作者: 曲炳鹏(1991—), 男(汉族), 山东省淄博市人, 博士研究生, 研究方向为土壤生态。E-mail: qubingpeng@163.com。

通讯作者: 李素艳(1968—), 女(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土壤生态方面的研究。E-mail: lisuyan@bjfu.edu.cn。

枯落物层是由林木及林下植被凋落的茎、叶、枝条、芽、花、果实、树皮和枯死的植物残体所形成的一层地面覆盖层,是森林生态系统 3 个垂直结构上的主要功能层之一^[1],是森林生态系统健康监测和评价所研究的重要内容。枯落物层的存在,不仅能促进森林生态系统的物质循环和养分平衡,而且在截持降水、防止土壤溅蚀、阻延地表径流、抑制土壤水分蒸发、增强土壤抗冲性等方面都具有非常重要的意义^[2-3]。不同森林类型的枯落物持水能力与其林分结构、发育阶段、树种生物学特性和立地条件等因素密切相关^[4-5]。目前,国内外许多学者在不同区域内对不同林分的枯落物层做了大量的研究,在枯落物层的凋落量、掉落动态、分解速率、截持降水、改良土壤结构、实现养分循环、影响地表径流、土壤水分蒸散和土壤侵蚀机理等方面都取得了一定的成果^[5-15],但对生态景观林的枯落物层的持水特性研究甚少。本研究首次对大兴生态景观林主要造林树种林下枯落物层的持水能力进行了定量分析研究,旨在对其森林健康的检测与评价、区域内森林健康经营技术方案的制定和水土保持措施的选择提供一定的理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于北京市大兴区榆垓镇南部,地理坐标(116°16'E,39°26'N),该地属永定河冲积平原,地势自西向东南轻缓,大部分地区海拔在 14~52 m 之

间,为暖温带亚湿润气候区,年均温度 11.6 ℃,年均降水 556 mm(1990—2009 年),其中 7—9 月降雨量占到全年降雨总量的 60%~70%(1956—2000 年大兴气象站观测数据)^[16],土壤主要类型为砂质风沙土,主要乔木树种有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、千头椿(*Ailanthus altissima*)、紫叶李(*Prunus cerasiferacv*)、国槐(*Sophora japonica*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、元宝枫(*Acer truncatum*)、金叶榆(*Ulmus pumila*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、旱柳(*Salix matsudana*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 枯落物的采集与蓄积量的测定 2016 年 8 月,在对北京大兴景观生态林的地形、植被、土壤等特性进行调查的基础上,在研究区内选取具有代表性的 10 种乔木林样地,分别为金叶榆、油松、紫叶李、国槐、刺槐、旱柳、千头椿、银杏、元宝枫、毛白杨林样地,在不同的林分内设置 20 m×20 m 的标准样地,进行每木检尺,同时采用样点统计法调查不同林分的郁闭度,即在每块样地内随机设置 50 个样点,判断样点是否被树冠遮盖,统计被遮盖的样点数,并计算其郁闭度^[17]。所有调查结果详见表 1。之后在标准样地的对角线上,选定 5 个 50 cm×50 cm 的样方,先测定样方内枯落物层的总厚度、未分解层的厚度及半分解层的厚度,再采用四分法进行分层取样并称其鲜重,后置于烘箱中 85 ℃烘干至恒重,称重并计算枯落物的自然含水率,以其干物质重估算其蓄积量。

表 1 研究区不同林分标准地概况

林分类型	林龄/ a	林分密度/ (株·hm ⁻²)	海拔/ m	平均胸径/ cm	平均树高/ m	郁闭度	土壤质地
金叶榆	10	600	21	7.1	2.9	0.70	砂壤
油松	12	667	22	3.8	2.5	0.40	砂壤
紫叶李	8	958	23	2.7	0.9	0.65	砂壤
国槐	10	667	22	5.5	3.0	0.60	砂壤
刺槐	10	650	22	5.4	2.4	0.55	砂壤
旱柳	12	658	24	7.2	3.2	0.70	砂壤
千头椿	9	475	26	8.3	2.8	0.70	砂壤
银杏	11	658	22	7.7	2.7	0.45	砂壤
元宝枫	8	550	23	7.5	3.8	0.60	砂壤
毛白杨	15	625	25	7.5	6.7	0.50	砂壤

1.2.2 枯落物持水量及其吸水速度的测定 采用室内浸泡法对枯落物持水量及其吸水速度进行测定。将烘干的枯落物取出部分称重,之后装入纱布袋浸入水中,分别在浸泡 0.25,0.5,1,2,4,6,8,10,12,24 h 后,将纱布袋取出并静置至枯落物不再滴水为止,迅速称重并记录,由此测定枯落物的浸泡不同时长的持

水量,并计算其吸水速率、最大持水量、最大持水率、最大拦蓄率和有效拦蓄量。

各参数的计算公式^[1,18-19]为:

$$\text{枯落物持水量} = \text{枯落物鲜重} - \text{枯落物干重} \quad (1)$$

$$\text{枯落物持水率} =$$

$$\text{枯落物持水量} / \text{枯落物干重} \times 100\% \quad (2)$$

枯落物吸水速率 = 枯落物持水量 / 吸水时间 (3)

$$R_0 = (G_0 - G_d) / G_0 \times 100\% \quad (4)$$

式中: R_0 ——自然含水率(%); G_0 ——自然状态下的枯落物质量(g); G_d ——烘干的枯落物质量(g)。下同。

$$R_{hmax} = (G_{24} - G_d) / G_d \times 100\% \quad (5)$$

式中: R_{hmax} ——最大持水率(%); G_{24} ——浸水 24 h 后枯落物质量(g)。下同。

$$R_{smax} = R_{hmax} - R_0 \quad (6)$$

式中: R_{smax} ——最大拦蓄率(%).

$$R_{sv} = 0.85R_{hmax} - R_0 \quad (7)$$

式中: R_{sv} ——有效拦蓄率(%). 下同。

$$W_{hmax} = G_{24} - G_d \quad (8)$$

式中: W_{hmax} ——枯落物最大持水量(t/hm^2)。

$$W_{smax} = R_{smax} \cdot G_d \quad (9)$$

式中: W_{smax} ——枯落物最大拦蓄量(t/hm^2)。

$$W_{sv} = R_{sv} \cdot G_d \quad (10)$$

式中: W_{sv} ——枯落物有效拦蓄量(t/hm^2)。

1.3 数据处理

使用 Excel 2007 软件和 SPSS 16.0 对数据进行相关性分析和回归方程的显著性检验,使用 Sigma Plot 12.5 进行软件制图。

2 结果及分析

2.1 枯落物蓄积量

由表 2 可知,10 种林分枯落物的未分解层厚度为 1.1~3.2 cm,半分解层厚度为 0.8~1.8 cm,其中毛白杨林的总厚度最大,为 4.8 cm,油松林最小,为 1.9 cm,10 种林分枯落物总厚度由大到小依次:毛白杨>千头椿>金叶榆>刺槐>银杏>国槐>紫叶李>元宝枫>早柳>油松,不同林分的枯落物总蓄积量相差较大,为 2.37~5.33 t/hm^2 ,从大到小依次为:毛白杨>油松>千头椿>刺槐>国槐>银杏>金叶榆>元宝枫>早柳>紫叶李。此外,通过分析 10 种林分枯落物未分解层、半分解层蓄积量所占比例可以看出,金叶榆林、紫叶李林、刺槐林和早柳林是未分解层蓄积量大于半分解层蓄积量,其他林分则是半分解层蓄积量大于未分解层蓄积量,其中毛白杨林未分解层占其总蓄积量的百分比最大,为 67.52%,金叶榆林所占比例最小,为 36.88%。这一方面是因为针阔叶树枯落物分解速度不同,另一方面则是由于受到林分组成、林龄不同等多种因子的影响,在一定程度上影响到了枯落物的输入和分解。

表 2 研究区不同林分枯落物层特征

林分类型	枯落物厚度/cm			枯落物蓄积量				
	未分解	半分解	总厚度	未分解/ ($t \cdot hm^{-2}$)	未分解 比例/%	半分解/ ($t \cdot hm^{-2}$)	半分解 比例/%	总蓄积量/ ($t \cdot hm^{-2}$)
金叶榆	2.0	1.8	3.8	1.26	36.88	2.15	63.12	3.41
油松	1.1	0.8	1.9	2.08	52.84	1.85	47.16	3.93
紫叶李	1.8	1.1	2.9	1.19	49.95	1.19	50.05	2.37
国槐	1.9	1.2	3.1	1.88	52.44	1.70	47.56	3.58
刺槐	2.1	1.6	3.7	1.60	44.19	2.02	55.81	3.63
早柳	1.3	1.1	2.4	1.32	47.58	1.45	52.42	2.77
千头椿	2.5	1.6	4.1	1.89	50.63	1.84	49.37	3.73
银杏	2.0	1.6	3.6	2.07	59.56	1.41	40.44	3.48
元宝枫	1.6	1.0	2.6	1.62	56.96	1.22	43.04	2.84
毛白杨	3.2	1.6	4.8	3.60	67.52	1.73	32.48	5.33

2.2 枯落物水文效应

2.2.1 枯落物最大持水能力 由表 3 可知,10 种林分枯落物的最大持水量范围在 5.56~24.92 t/hm^2 ,毛白杨林枯落物最大持水量最大,为 24.92 t/hm^2 ,紫叶李林最小,为 5.56 t/hm^2 ,大小次序依次为:毛白杨>千头椿>刺槐>金叶榆>国槐>银杏>元宝枫>早柳>油松>紫叶李,其中未分解层的最大持水量为 2.73~15.91 t/hm^2 ,半分解层为 2.83~9.01 t/hm^2 ,均为毛白杨林最大,紫叶李林最小,且不同林分之间相差较大。枯落物最大持水率变化范围为

208.64%~481.62%,大小次序依次为:毛白杨>千头椿>金叶榆>刺槐>国槐>早柳>元宝枫>银杏>紫叶李>油松。其中针叶树种(油松)的枯落物持水能力要显著低于其他阔叶树种,而同一树种不同枯落物层的最大持水量与最大持水率的规律也不同,这主要是枯落物的分解程度影响着枯落物层的持水能力,枯落物的分解程度越高,其半分解层枯落物的蓄积量就越大,枯落物的持水能力就越高;而另一原因则在于最大持水率与枯落物的自身结构和生物量有着较大的关系。

表 3 研究区不同林分枯落物的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	半分解	总和	未分解	半分解	平均
金叶榆	4.28	8.47	12.75	339.89	393.32	366.60
油松	3.72	4.41	8.13	179.29	238.00	208.64
紫叶李	2.73	2.83	5.56	230.76	237.97	234.37
国槐	5.29	6.96	12.26	282.31	409.33	345.82
刺槐	5.26	8.16	13.41	327.86	402.76	365.31
旱柳	4.27	5.26	9.53	323.63	362.43	343.03
千头椿	7.74	6.90	14.64	409.77	374.32	392.05
银杏	6.36	4.41	10.77	306.74	313.21	309.98
元宝枫	5.80	3.94	9.74	358.19	322.09	340.14
毛白杨	15.91	9.01	24.92	442.25	520.99	481.62

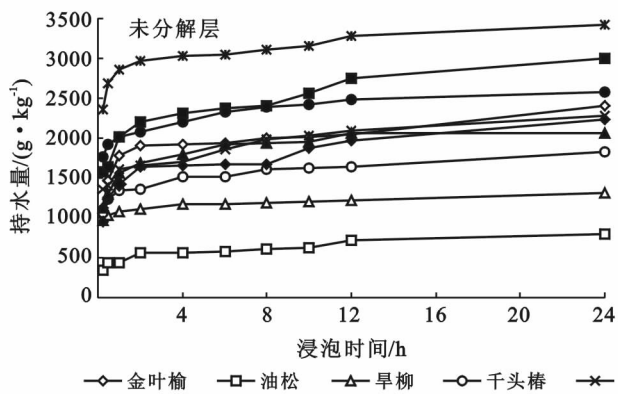


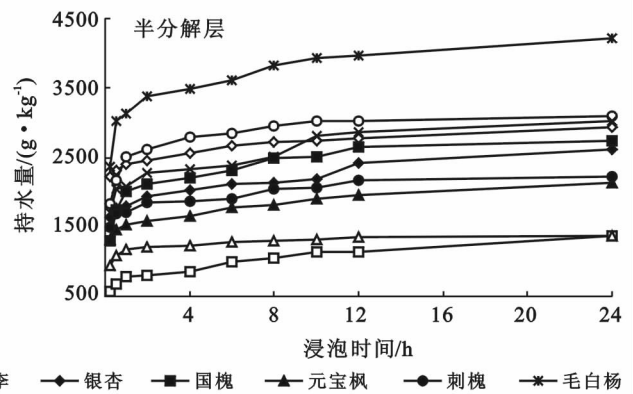
图 1 研究区不同林分枯落物持水过程

2.2.2 枯落物持水过程 由图 1 可知,在最初浸泡的 0~0.5 h 内,枯落物持水量随着浸泡时间的增加迅速增加,之后随着浸泡时间的延长大致呈现不断增加的趋势,且增加速度逐渐减小。这一过程与枯落物拦蓄地表径流规律相似,即在降雨初始阶段,枯落物吸水能力较强,而后随着降雨时间的增加,枯落物持水接近饱和,持水能力降低。此外,未分解层和半分解层枯落物持水量在浸泡 8 h 时已基本达到饱和。

对浸水 0.25~24 h 的 10 种不同林分枯落物各层持水量与浸泡时间的关系进行回归分析,结果详见表 4,得出持水量与浸泡时间之间存在以下关系式:

$$Q = a \ln(t) + b \quad (11)$$

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



通过对枯落物的未分解层和半分解层进行拟合,大多数相关系数 R^2 均大于 0.91,只有金叶榆的半分解层、紫叶李的未分解层和半分解层的关系式相关系

数在 0.80~0.90 之间,拟合效果较好,这说明 10 种林分枯落物的持水量与浸泡时间呈较为显著的对数函数关系(表 4)。

表 4 不同林分未分解层和半分解层枯落物层持水量与浸泡时间关系

林分类型	枯落物层	关系式	R^2	林分类型	枯落物层	关系式	R^2
金叶榆	未分解	$Q = 263.26 \ln(t) + 1523.94$	$R^2 = 0.93$	旱柳	未分解	$Q = 230.65 \ln(t) + 1363.27$	$R^2 = 0.95$
	半分解	$Q = 240.91 \ln(t) + 2245.85$	$R^2 = 0.86$		半分解	$Q = 190.70 \ln(t) + 1841.51$	$R^2 = 0.94$
油松	未分解	$Q = 95.08 \ln(t) + 451.87$	$R^2 = 0.96$	千头椿	未分解	$Q = 317.35 \ln(t) + 1900.93$	$R^2 = 0.97$
	半分解	$Q = 155.44 \ln(t) + 754.92$	$R^2 = 0.96$		半分解	$Q = 322.72 \ln(t) + 1803.84$	$R^2 = 0.97$
紫叶李	未分解	$Q = 124.33 \ln(t) + 965.54$	$R^2 = 0.80$	银杏	未分解	$Q = 272.04 \ln(t) + 1389.88$	$R^2 = 0.91$
	半分解	$Q = 138.73 \ln(t) + 1035.20$	$R^2 = 0.86$		半分解	$Q = 154.50 \ln(t) + 1535.09$	$R^2 = 0.97$
国槐	未分解	$Q = 192.44 \ln(t) + 1224.24$	$R^2 = 0.92$	元宝枫	未分解	$Q = 210.30 \ln(t) + 1954.57$	$R^2 = 0.95$
	半分解	$Q = 334.74 \ln(t) + 2256.35$	$R^2 = 0.93$		半分解	$Q = 193.78 \ln(t) + 1645.59$	$R^2 = 0.94$
刺槐	未分解	$Q = 216.53 \ln(t) + 1534.66$	$R^2 = 0.94$	毛白杨	未分解	$Q = 241.67 \ln(t) + 2680.83$	$R^2 = 0.95$
	半分解	$Q = 297.21 \ln(t) + 2034.90$	$R^2 = 0.94$		半分解	$Q = 387.65 \ln(t) + 3018.36$	$R^2 = 0.98$

2.2.3 枯落物吸水速率 由图 2 可知,10 种林分不同层次的枯落物的吸水速率与浸泡时间呈现规律如

下:枯落物的未分解层和半分解层在开始浸泡时,吸水速率都非常高,在 0.5 h 之前吸水速率最大,这可

能是枯落物从风干状态浸入水中后枯落物的死细胞间或者表面水势差较大导致吸水速率较高所致,与徐娟等的研究结果分析相似^[20]。之后枯落物的吸水速率下降明显且速度快,6 h 左右时下降速度呈明显的减缓趋势。虽然 10 种林分枯落物在浸泡初期其吸水

速率相差较大,但随着浸泡时间的增加,枯落物吸水速率趋于一致,24 h 吸水基本停止,表明枯落物吸水已经达到饱和状态。这是因为枯落物的持水量随着浸泡时间的持续延长逐渐接近其最大持水量直至饱和,因此,其吸水速率也会随之减小。

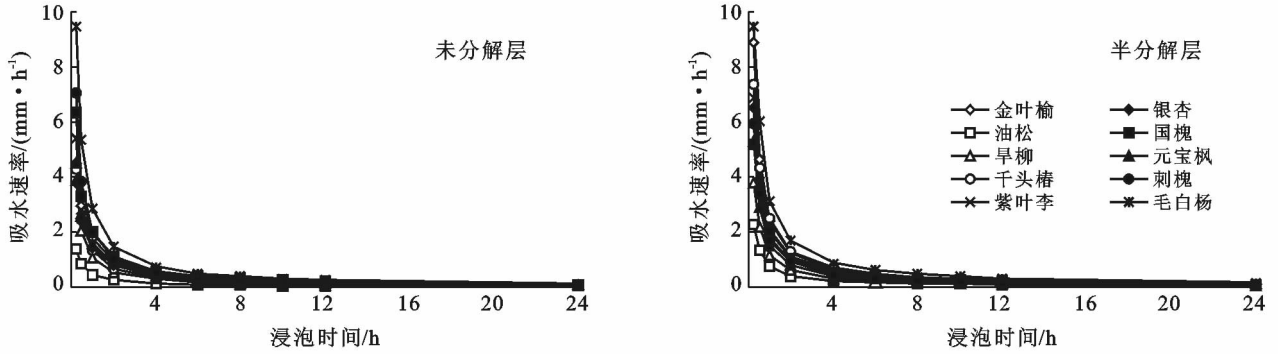


图 2 不同林分枯落物吸水速率与浸泡时间的关系

对 10 种林分不同层次枯落物吸水速率与浸泡时间进行拟合(结果详见表 5),得到关系式为:

$$V = kt^n \quad (12)$$

式中: V ——枯落物吸水速率(g/kg); t ——浸泡时间(h); k ——方程系数; n ——指数。

通过对不同林分枯落物的未分解层和半分解层的吸水速率和浸泡时间进行拟合分析,其相关系数 R^2 均为 0.99,拟合效果较好,这说明研究区域 10 种林分枯落物的吸水速率与浸泡时间呈较为显著的幂函数关系。

表 5 不同林分枯落物层吸水速率与浸泡时间拟合方程

林分类型	枯落物层	关系式	R^2	林分类型	枯落物层	关系式	R^2
金叶榆	未分解	$V = 1\,424.55 t^{-0.82}$	$R^2 = 0.99$	早柳	未分解	$V = 1\,299.34 t^{-0.83}$	$R^2 = 0.99$
	半分解	$V = 2\,176.31 t^{-0.88}$	$R^2 = 0.99$		半分解	$V = 1\,810.24 t^{-0.90}$	$R^2 = 0.99$
油松	未分解	$V = 414.31 t^{-0.78}$	$R^2 = 0.99$	千头椿	未分解	$V = 1\,803.48 t^{-0.83}$	$R^2 = 0.99$
	半分解	$V = 706.73 t^{-0.80}$	$R^2 = 0.99$		半分解	$V = 1\,692.73 t^{-0.81}$	$R^2 = 0.99$
紫叶李	未分解	$V = 912.56 t^{-0.85}$	$R^2 = 0.99$	银杏	未分解	$V = 1\,222.50 t^{-0.76}$	$R^2 = 0.99$
	半分解	$V = 982.01 t^{-0.85}$	$R^2 = 0.99$		半分解	$V = 1\,512.15 t^{-0.90}$	$R^2 = 0.99$
国槐	未分解	$V = 1\,148.58 t^{-0.83}$	$R^2 = 0.99$	元宝枫	未分解	$V = 1\,908.87 t^{-0.89}$	$R^2 = 0.99$
	半分解	$V = 2\,137.52 t^{-0.84}$	$R^2 = 0.99$		半分解	$V = 1\,598.38 t^{-0.88}$	$R^2 = 0.99$
刺槐	未分解	$V = 1\,473.32 t^{-0.86}$	$R^2 = 0.99$	毛白杨	未分解	$V = 2\,637.63 t^{-0.91}$	$R^2 = 0.99$
	半分解	$V = 1\,950.61 t^{-0.85}$	$R^2 = 0.99$		半分解	$V = 2\,929.84 t^{-0.87}$	$R^2 = 0.99$

2.2.4 枯落物有效拦蓄能力 由表 6 可知,10 种林分枯落物的最大拦蓄量在 $5.37 \sim 24.24 t/hm^2$ 之间,其中毛白杨林枯落物最大拦蓄量最大,紫叶李林最小,各林分枯落物未分解层最大拦蓄量在 $2.63 \sim 15.48 t/hm^2$ 之间,半分解层在 $2.74 \sim 8.76 t/hm^2$ 之间。从有效拦蓄率看,千头椿林和元宝枫林未分解层大于半分解层,而其他 8 种林分则是半分解层大于

未分解层,各林分平均有效拦蓄率在 $161.00\% \sim 396.23\%$ 之间。毛白杨林枯落物的总有效拦蓄量和总有效拦蓄深均为最强,分别为 $20.51 t/hm^2$, $2.05 mm$,而紫叶李林枯落物均为最弱,分别为 $4.54 t/hm^2$, $0.45 mm$,其他林分总有效拦蓄量和总有效拦蓄深由大到小依次为:千头椿 > 刺槐 > 金叶榆 > 国槐 > 银杏 > 元宝枫 > 早柳 > 油松。

表 6 研究区不同林分枯落物有效拦蓄能力

林分类型	枯落物层	自然含水率/%	最大拦蓄量/ (t·hm ⁻²)	合计最大拦蓄量/ (t·hm ⁻²)	有效拦蓄率/%	平均有效拦蓄率/%	有效拦蓄量/ (t·hm ⁻²)	总有效拦蓄/ (t·hm ⁻²)	有效拦蓄深/mm	总有效拦蓄深/mm
金叶榆	未分解	12.3	4.12	12.29	276.61	298.62	3.48	10.38	0.35	1.04
	半分解	13.7	8.17		320.62		6.9		0.69	
油松	未分解	15.1	3.41	7.49	137.3	161.00	2.85	6.27	0.28	0.63
	半分解	17.6	4.08		184.7		3.42		0.34	
紫叶李	未分解	8.5	2.63	5.37	187.64	191.51	2.22	4.54	0.22	0.45
	半分解	6.9	2.74		195.38		2.32		0.23	
国槐	未分解	12.9	5.05	11.77	227.07	280.45	4.26	9.94	0.43	0.99
	半分解	14.1	6.72		333.83		5.68		0.57	
刺槐	未分解	10.8	5.08	12.92	267.88	297.37	4.29	10.91	0.43	1.09
	半分解	15.5	7.84		326.85		6.62		0.66	
旱柳	未分解	7.2	4.17	9.28	267.89	282.73	3.53	7.85	0.35	0.79
	半分解	10.5	5.11		297.56		4.32		0.43	
千头椿	未分解	7.4	7.6	14.37	340.9	326.24	6.44	12.18	0.64	1.22
	半分解	6.6	6.77		311.57		5.74		0.57	
银杏	未分解	6.5	6.23	10.51	254.23	255.63	5.27	8.89	0.53	0.89
	半分解	9.2	4.28		257.03		3.62		0.36	
元宝枫	未分解	13.1	5.59	9.34	291.36	274.92	4.72	7.88	0.47	0.79
	半分解	15.3	3.75		258.48		3.16		0.32	
毛白杨	未分解	11.8	15.48	24.24	364.12	396.23	13.1	20.51	1.31	2.05
	半分解	14.5	8.76		428.34		7.41		0.74	

3 结论

(1) 北京大兴生态景观林 10 种林分枯落物的研究表明:毛白杨林枯落物总厚度最大,为 4.8 cm,油松最小,为 1.9 cm。10 种林分枯落物总蓄积量在 2.37~5.33 t/hm² 之间,由大到小依次为:毛白杨>油松>千头椿>刺槐>国槐>银杏>金叶榆>元宝枫>旱柳>紫叶李。毛白杨林未分解层枯落物的蓄积量占总蓄积量比例最大,为 67.52%,金叶榆林最小,为 36.88%。

(2) 10 种不同林分枯落物最大持水量 5.56~24.92 t/hm²,最大持水率 208.64%~481.62%,最大拦蓄量 2.63~15.48 t/hm²,有效拦蓄率则是千头椿林和元宝枫林未分解层大于半分解层,其他 8 种林分半分解层大于未分解层,各林分平均有效拦蓄率为 161.00%~396.23%。毛白杨林枯落物的总有效拦蓄量和总有效拦蓄深均为最强,紫叶李林均为最弱。

(3) 对于枯落物的持水过程,枯落物不同层次持水量与浸泡时间存在显著的对数函数关系。枯落物持水量在最初浸泡的 0~0.5 h 内,随着浸泡时间的增加,枯落物持水量迅速增加,浸泡 8 h 时基本饱和;枯落物吸水速率与浸泡时间呈显著的幂函数关系。

在最初浸泡的 0.5 h 内枯落物的吸水速率最大,之后吸水速率急剧下降,6 h 左右时下降明显减缓,24 h 时吸水基本停止。综合分析结果表明,10 种林分中毛白杨的各项持水能力均优于其它树种,能够较好地涵养水源。

[参 考 文 献]

- [1] 张峰,彭祚登,安永兴,等.北京西山主要造林树种林下枯落物的持水特性[J].林业科学,2010,46(10):6-14.
- [2] 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.
- [3] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等.森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):23-28.
- [4] 白晋华,胡振华,郭晋平.华北山地次生林典型森林类型枯落物及土壤水文效应研究[J].水土保持学报,2009,23(2):84-89.
- [5] 吴迪,辛学兵,赵明扬,等.北京九龙山不同林分枯落物及土壤水文效应[J].林业科学研究,2014,27(3):417-422.
- [6] 邓继峰,丁国栋,吴斌,等.宁夏盐池地区 3 种林分枯落物层和土壤水文效应[J].北京林业大学学报,2014,36(2):108-114.

(下转第 74 页)

表 3 茶树各器官 Cr 含量与土壤 pH 值和有机质的相关性

相关性	茶叶	茶茎	茶根
pH 值	0.28	-0.01	-0.02
有机质	0.62*	0.63*	0.74*

表 4 茶树各器官 Mn 含量与土壤 pH 值和有机质的相关性

相关性	茶叶	茶茎	茶根
pH 值	0.23	-0.01	-0.67*
有机质	0.68*	0.10	0.03

3 结论

凤凰单枞茶树各器官吸收累积 Cr 含量大小顺序依次为:茶根>茶茎>茶叶;吸收积累 Mn 含量大小顺序依次为:茶叶>茶茎>茶根。茶叶中 Cr 和 Mn 含量与土壤酸可溶解态 Cr 和 Mn 含量分别呈显著正相关性,茶茎中 Cr 含量也与土壤酸可溶解态 Cr 含量呈显著正相关性;茶叶、茶茎和茶根中 Cr 与土壤有机质呈显著正相关性,茶根中 Mn 含量与土壤 pH 值呈显著负相关,而茶叶中 Mn 含量与土壤有机质呈显著正相关。通过调节土壤酸可溶解态 Cr 和 Mn、土壤 pH 值和有机质含量,从而控制茶树吸收 Cr 和 Mn 的量,达到防治茶叶重金属污染,提高茶叶质量的目的。

(上接第 70 页)

- [7] 赵芳,李雪云,赖国桢,等. 飞播马尾松林不同林下植被类型枯落物及土壤水文效应[J]. 中国水土保持科学, 2016,14(4):26-33.
- [8] 齐瑞,杨永红,陈宁,等. 白龙江上游 5 种典型灌木林枯落物蓄积量及持水特性[J]. 水土保持学报, 2016,30(6):123-127.
- [9] 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.
- [10] 喻阳华,李光容,严令斌,等. 赤水河上游主要树种枯落物调蓄水分效应[J]. 中国水土保持科学, 2015,13(3):39-44.
- [11] 杨荣,杨宏伟,刘丽英,等. 不同林分山杏灌木林枯落物持水性能研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2017,45(2):96-102,110.
- [12] 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]. 中国水土保持科学, 2015,13(6):26-32.
- [13] 吕刚,傅昕阳,李叶鑫,等. 露天煤矿排土场复垦区不同植被类型枯落物持水特性研究[J]. 水土保持学报, 2017,31(1):146-152.

[参 考 文 献]

- [1] 张清海,龙章波,林绍霞. 贵州云雾茶园土壤高含量重金属和砷在茶叶中的积累与浸出特征[J]. 食品科学, 2013,34(8):212-215.
- [2] 刘美雅,伊晓云,石元值,等. 茶园土壤形状及茶树营养元素吸收、转运机制研究进展[J]. 茶叶科学, 2015,35(2):110-120.
- [3] 国家环境保护局科技标准司. GB15618-1995 土壤环境质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,1995:235-237.
- [4] 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1984.
- [5] 荆俊杰,谢吉民. 微量元素锰污染对人体的危害[J]. 广东微量元素科学, 2008,15(2):6-9.
- [6] 戴宇,杨重法,郑袁明. 土壤—植物系统中铬的环境行为及其毒性评价[J]. 环境科学, 2009,30(11):3432-3440.
- [7] 谢忠雷,郭平,刘鹏,等. 茶园土壤锰的形态分布及其影响因素[J]. 农业环境科学学报, 2007,26(2):645-650.
- [8] 李张伟,庄东红. 粤东凤凰山茶区土壤铜、铬化学形态分布及茶叶有效性研究[J]. 农业环境科学学报, 2011,30(7):1314-1320.
- [9] 李张伟,张敏,徐桂崧. 粤东凤凰山茶区土壤锰、锌赋存形态特征及对茶叶的有效性[J]. 生态与农村环境学报, 2011,27(5):7-12.
- [14] 肖石红,何东进,朱乃新,等. 天宝岩不同类型长苞铁杉林枯落物持水特性[J]. 福建农林大学学报:自然版, 2016,45(4):398-404.
- [15] 张向峰,王玉杰,刘敏. 北京市 3 个区域油松枯落物保水功能对比分析[J]. 水土保持通报, 2014,34(2):311-314,319.
- [16] 周洁. 北京大兴杨树人工林生态系统水分利用效率研究[D]. 北京:北京林业大学, 2013.
- [17] 李永宁,张宾兰,秦淑英,等. 郁闭度及其测定方法研究与应用[J]. 世界林业研究, 2008(1):40-46.
- [18] 赵磊,王兵,蔡体久,等. 江西大岗山不同密度杉木林枯落物持水与土壤贮水能力研究[J]. 水土保持学报, 2013,27(1):203-208,246.
- [19] Kawaadias V A, Alifragis D, Tsiontsis, et al. Litter-fall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 144 (1/(3): 113-127.
- [20] 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.