

东莞 5 种生态公益林枯落物及土壤水文效应

董辉¹, 严朝东², 苏纯兰², 曹洪麟¹

(1.中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2.东莞市林业科学研究所, 广东 东莞 523006)

摘要: 为了解东莞市内不同森林公园的森林地表枯落物和土壤水源涵养能力, 于 2020 年 7 月选取东莞市 5 个森林公园 5 种 30 年的生态公益林作为研究对象, 采用烘干法和浸水法对枯落物、土壤的持水能力及物理性质进行研究。结果表明: 生态公益林林地枯落物层厚度变动为 1.5~10.5 cm, 生物量变化范围为 0.32~5.73 t/hm², 最大持水量、有效拦蓄力量均呈现湿地松—九节林>马占相思—岭南山竹子林>浙江润楠—豺皮樟林>木荷—油茶林>桉树—鹅掌柴林。通过回归拟合发现, 累积持水量与浸水时间呈显著的对数关系, 吸水速率与浸水时间呈显著的幂函数关系; 累积失水量与失水时间呈显著的 3 次关系, 失水速率与失水时间呈显著的倒数关系。不同类型林分土壤持水量与不同孔隙度的大小直接相关, 土壤总孔隙度和毛管孔隙度越高, 土壤的容重越小, 土壤保水能力越强。研究结果可为该区森林可持续经营管理和生态效益评价提供参考。

关键词: 东莞; 生态公益林; 枯落物持水性; 土壤持水性; 水源涵养功能

中图分类号: S715.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)05-0144-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2021.05.021

Litter and Soil Hydrological Effects of Five No-commercial Forests in Dongguan

DONG Hui¹, YAN Chaodong², SU Chunlan², CAO Honglin¹

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650;

2. Dongguan Forestry Research Institute, Dongguan, Guangdong 523006)

Abstract: The litter and soil of the forest park in Dongguan may have good water conservation functions, but the information is lack. In order to explore the water conservation capacity of different forest litter and soil, the study for 5 types of 30-year non-commercial forests were conducted in July 2020. Drying method and experimental water soaking method were used to study the water holding capacity and physical properties of litter and soil (0—20 cm). The results showed that the thickness of the litter layer of the ecological public welfare forests varied from 1.5 to 10.5 cm, and the biomass varied from 0.32 to 5.73 t/hm². The rank of the maximum water holding capacity and effective interception power showed that *Pinus elliottii*-*Psychotria asiatica* forest>*Acacia mangium*-*Garcinia oblongifolia* forest>*Machilus chekiangensis*-*Litsea rotundifolia* forest>*Schima superba*-*Camellia oleifera* forest>*Eucalyptus robusta*-*Schefflera heptaphylla* forest. It was also found that the cumulative water holding capacity had a significant logarithmic relationship with the immersion time, and the water absorption rate had a significant power function relationship with the immersion time; the cumulative water loss and the water loss time have a significant three-time relationship, and the water loss rate and water loss time showed a significant reciprocal relationship. The soil water holding capacity of different types of forest stands was directly related to the size of porosity. The higher the total soil porosity and capillary porosity, soil bulk density decreased, while soil water retention capacity increased with increasing total soil porosity and capillary porosity. This study can provide references for sustainable forest management and ecological benefit evaluation in this area.

Keywords: Dongguan; non-commercial forest; water holding capacity of litter; soil water holding capacity; water conservation function

收稿日期: 2021-04-06

资助项目: 东莞市林业科学研究所 2020 年财政专项

第一作者: 董辉(1996—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事生态系统服务功能研究。E-mail: donghui@scbg.ac.cn

通信作者: 曹洪麟(1966—), 男, 研究员, 硕士生导师, 主要从事保育生态研究。E-mail: caohl@scib.ac.cn

水源涵养功能是森林生态系统的重要功能之一^[1-3]。作为森林生态系统的重要组成成分,枯落物层由林分凋落的植物残体累积形成,是森林土壤特有的发生层,具有增强水源涵养和水土保持、提升水文生态功能、优化生态系统服务的功能效应^[4]。枯落物层作为森林水文效应的第 2 活动层,在有效拦截降雨、阻抑地表径流、减轻土壤冲蚀、增加土壤水分入渗、抑制土壤水分蒸发和净化水质等方面发挥主导作用^[5-7]。不同植被类型森林枯落物水源涵养效应存在差异^[8],研究不同植被类型森林凋落物水文特征对于阐明其水源涵养功能具有重要作用。

不同植被类型的生态效益存在差异,对维持地区整体性生态服务功能贡献不同。植被类型对枯落物量、组成及其水文特征的影响还存在很多的争议^[1,9-10]。因此,加强森林枯落物水文效应监测对于森林资源合理经营、改善森林水环境具有重要意义。分布于东莞市不同森林公园的生态公益林通过自身调节水量功能改善林内外小气候,如增加空气湿度、降低林内外温度等,这个功能对于公园活动项目的进行提供了良好的环境,也对夏季林分活动的影响极为显著。因此,本研究拟在东莞生态建设投资较多的大岭山森林公园、东莞植物园、清溪森林公园、莲花山森林公园、水濂山森林公园 5 个地点选取具有代表性的 5 种典型林分,这些林分都是早期人工大面积种植单一树种通过近自然经营或天然生长纳入生态公益林范畴的林分,对其林下枯落物落物的水文特性及土壤物理性质进行分析,试图阐明东莞不同森林公园主要典型林分通过近自然经营改造后林下枯落物层的持水规律及土壤物理性质情况,并充分认识区域森林水

源涵养特征,为该区森林可持续经营管理和生态效益评价提供参考。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区东莞市位于 113°31′—114°15′E,22°39′—23°09′N,属亚热带季风气候,长夏无冬,日照充足,雨量充沛,温差振幅小,季风明显。雨量集中在 4—9 月,其中 4—6 月为前汛期,以锋面低槽降水为多。7—9 月为后汛期,台风降水活跃。容易常受台风、暴雨、春秋干旱等的侵袭。东莞市地质构造上,位于罗浮山断缘的北部东向博罗大断裂南西部、东莞断凹盆地中部。地势东南高、西北低。现状植被以人工种植的马尾松、桉树林、相思林和竹林等为主,一些较大面积的荔枝、龙眼、芒果等果园^[11]。

1.2 样地设置

2019 年 11 月,在银屏山森林公园、东莞植物园、清溪森林公园、莲花山森林公园、水濂山森林公园各布置 1 种典型林分处理,林分典型性即该林分类型是该地区种植面积最大、分布最广或是仅存的天然林,且具有独特代表性的样板林分,主要优势树种包括马占相思(*Acacia mangium*)、岭南山竹子(*Garcinia oblongifolia*)、湿地松(*Pinus elliottii*)、九节(*Psychotria asiatica*)、浙江润楠(*Machilus chekiangensis*)、豺皮樟(*Litsea rotundifolia*)、木荷(*Schima superba*)、油茶(*Camellia oleifera*)、桉(*Eucalyptus robusta*)、鹅掌柴(*Schefflera heptaphylla*)等,其中马占相思、湿地松、浙江润楠、木荷、桉树为顶层树种,其胸径较大。每个处理设置 3 个 20 m×20 m 重复固定样地^[12]。对各样地进行每木检尺,其基本特征见表 1。

表 1 研究样地基本情况

样地 位置	林分 类型	林分 起源	林龄/a	海拔/m	土壤 厚度/cm	郁闭度/%	物种 数/种	胸径/cm	树高/m	林分密度/ (株·hm ⁻²)
银屏山森林公园	马占相思—岭南山竹子林	人工林	30±5	280±10	110±20	75±10	45±3	9.6±8.1	7.2±2.5	1875±115
东莞植物园	湿地松—九节林	人工林	30±3	50±10	120±20	70±5	36±4	6.6±5.2	5.5±4.3	1475±101
清溪森林公园	浙江润楠—豺皮樟林	天然林	30±5	555±20	115±15	80±5	56±6	8.8±8.0	7.8±5.5	1825±124
大屏障森林公园	木荷—油茶林	人工林	30±5	270±10	110±15	75±4	42±4	17.1±2.4	12.1±3.6	1041±88
水濂山森林公园	桉树—鹅掌柴林	人工林	30±5	245±10	100±15	65±15	31±3	20.7±6.1	15.5±4.1	1292±95

注:表中数据为平均值±标准差。

1.3 凋落物、土壤采集

在 2020 年 7 月,对研究区样地内林下枯落物进行调查在每个标准地(20 m×20 m)内设置 4 个 1 m×1 m 的小样方,在保持枯落物原状的情况下将枯落物划分未分解层与半分解层,用钢尺测定小样方内的枯落物层厚度,并用袋子收集小样方内所有枯落物样品混合后带回室内,用于枯落物持水性测定。在每个枯落物采集小样方下,用容积为 100 cm³的环刀,按照土层 0—20 cm 取样,即每隔 20 cm(20,40,60,

80 cm)取样,每层取样 3 次作为重复,带回实验室,用于测定各林分土壤物理性质和土壤持水能力。

1.4 测定方法

用精度 0.01 g 电子天平称其全部鲜重,用 4 分法取部分烘干(65 ℃)测定蓄积量,部分自然风干测定持水特性^[6,9,12-13]。每个样地 4 块样方的枯落物重量的平均值作为该样地的枯落物蓄积量。将自然风干的枯落物装入 0.1 mm 孔径的尼龙袋中完全浸水,分别于 0.5,1,2,4,8,12,24 h 后取出,悬置至不滴水立

即称重。在枯落物浸水 24 h 后,取出悬挂以自然失水(室温 25 ℃),分别于 0.5,1,2,4,8,12,24 h 后称重,最后烘干(65 ℃)称重。相关计算公式为:

$$\begin{aligned} R_0 &= ((G_0 - G_d) / G_d) \times 100\% \\ R_{h\max} &= ((G_{24} - G_d) / G_d) \times 100\% \\ W_{h\max} &= R_{h\max} \times M / 10 \\ R_{sv} &= 0.85R_{h\max} - R_0 \\ Q_i &= ((Q_{ij} - G_{ad}) / G_{ad}) \times 1000 \\ Q_1 &= ((Q_{i24} - G_{1j}) / G_{ad}) \times 1000 \end{aligned}$$

式中: G_0 、 G_d 、 G_{24} 、 G_{ab} 分别为枯落物样品自然状态的质量(g)、烘干状态质量(g)、浸水 24 h 后的质量(g)和风干状态质量(g); R_0 、 $R_{h\max}$ 、 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 为枯落物的蓄积量(t/hm^2) ; $W_{h\max}$ 为最大持水量(mm); W_{sv} 为有效拦蓄量(mm);0.85 为有效拦蓄系数; Q_{ij} 、 Q_{i24} 、 Q_{1j} 分别为枯落物浸泡 j h 后的质量,浸泡 24 h 后的质量和失水 j h 后的质量(g); Q_i 、 Q_1 分别为不同浸泡时间下枯落物的累积持水量和不同失水时间下枯落物的累积失水量(g/kg);1 000 为单位换算系数。基于此, $(j+1)$ 时间下枯落物的吸水或失水速率($\text{g}/(\text{g} \cdot \text{kg})$)= $(j+1)-j$ 时间段的持水量或失水量(g/kg) $\div$ 相应的间隔时间(h)。

土壤物理性质指标测定^[14-17]:采集的土样带回实验室,在水中充分浸泡 12 h 立即称重,用于计算土壤最大持水率(%);将其放在预先备好的沙盘中 2 h 后称重,用于计算土壤毛管持水率(%);将环刀继续放置沙盘 24 h 后称重,用于计算土壤最小持水率(%);将称重后的环刀再放入烘箱内烘干,称重记录环刀质量和烘干土质量,计算土壤容重、土壤孔隙度等指标。各项指标的计算公式^[18]为:

土壤容重: $P=(M-M_0)/V$

式中: P 为土壤容重(g/cm^3); M 为环刀干土重(g); M_0 为环刀重(g); V 为环刀容积(cm^3)。

毛管持水率: $C_m=(M_{z2}-M)/(M-M_0)\times 100\%$

式中: C_m 为毛管持水率(%); M_{z2} 为置沙 2 h 环刀土

重(g); M 为环刀干土重(g); M_0 为环刀重(g)。

土壤最大持水率: $C_{\max}=(M_{J12}-M)/(M-M_0)\times 100\%$

式中: $C_{\max}$ 为最大持水率(%); M_{J12} 为浸水 12 h 环刀土重(g); M 为环刀干土重(g); M_0 为环刀重(g)。

土壤最小持水率: $C_{\min}=(M_{Z24}-M)/(M-M_0)\times 100\%$

式中: $C_{\min}$ 为最最小持水率(%); M_{Z24} 为置沙 24 h 环刀土重(g); M 为环刀干土重(g); M_0 为环刀重(g)。

非毛管孔隙度: $G_{nm}=(C_{\max}-C_m)\times P$

式中: G_{nm} 为非毛管孔隙度(%); $C_{\max}$ 为最大持水率(%); C_m 为毛管持水率(%); P 为土壤容重(g/cm^3)。

毛管孔隙度: $G_m=C_m\times P$

式中: G_m 为毛管孔隙度(%); C_m 为毛管持水率(%); P 为土壤容重(g/cm^3)。

总孔隙度: $G_Z=G_{nm}+G_m$

式中: G_Z 为总孔隙度(%); G_m 为毛管孔隙度(%); G_{nm} 为非毛管孔隙度(%)。

1.5 数据处理

采用 Excel 2010 软件和 SPSS 软件对数据进行统计与作图。

2 结果与分析

2.1 不同类型生态公益林枯落物生物量和持水能力

由表 2 可知,东莞市不同类型生态公益林林地枯落物层厚度为 1.5~10.5 cm。湿地松—九节林的枯落物厚度最厚为 10.5 cm,其分解速率较慢,累积较多,最薄的是桉树—鹅掌柴林。通过相关性分析发现,枯落物的生物量与其厚度呈现显著的正相关关系($r=0.790,P<0.01$),枯落物层越厚,其生物量越大,不同类型生态公益林林地枯落物生物量变化范围为 0.32~5.73 t/hm^2 。其中最大和最小分别是湿地松—九节林和桉树—鹅掌柴林,前者枯落物生物量是后者的 17.9 倍。此外,枯落物最大持水量、有效拦蓄量都与枯落物生物量呈极显著的正相关关系($P<0.01$), r 值分别为 0.977 和 0.909,说明枯落物生物量可能是影响林分枯落物层持水能力的重要因素。

表 2 东莞不同类型生态公益林枯落物生物量、最大持水量及有效拦蓄量

林分 类型	枯落物 厚度/cm	生物量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	最大 持水率/%	最大 持水量/mm	有效 拦蓄率/%	有效 拦蓄量/mm
湿地松—九节林	10.5a	5.73a	192.65c	113.41a	81.45c	49.30a
马占相思—岭南竹子林	4.3b	0.98b	260.73a	25.60b	141.54a	14.07b
浙江润楠—豺皮樟林	3.2b	0.93b	238.09b	22.29b	133.69ab	12.47b
木荷—油茶林	4.1b	0.44bc	264.53a	11.95bc	136.79ab	6.25bc
桉树—鹅掌柴林	1.5b	0.32bc	223.23bc	7.12bc	105.59b	3.36c

注:同列不同小写字母表示各林分类型间差异显著($P<0.05$)。

东莞市不同类型生态公益林林地枯落物层最大持水量的变幅为 7.12~113.41 mm,有效拦蓄量变幅为 3.36~49.30 mm。不同类型生态公益林枯落物最大

持水量和有效拦蓄力量由大到小都分别是湿地松—九节林、马占相思—岭南山竹子林、浙江润楠—豺皮樟林、木荷—油茶林、桉树—鹅掌柴林。这 5 种林分的枯落物

层最大持水率为 192.65%~264.53%,即东莞生态公益林的枯落物层最多可吸持自身重量 1.9~2.6 倍的水分,枯落物持水率最大的为木荷—油茶林(264.53%),最小的为湿地松—九节林(192.65%)。枯落物层的有效拦蓄率变化范围为 81.05%~141.54%,从小到大依次为湿地松—九节林、桉树—鹅掌柴林、浙江润楠—豺皮樟林、木荷—油茶林、马占相思—岭南山竹子林。

2.2 不同类型生态公益林枯落物持水、失水动态分析

2.2.1 枯落物持水动态分析 枯落物的吸失水过程是反映枯落物水源涵养能力的重要内容^[6]。东莞市不同类型生态公益林林分枯落物的持水量随着时间的增加而增大。浸泡初期的 2 h 内,枯落物持水量增加速率最快,之后增加速率变慢,在浸泡超过 12 h 之后,枯落物累积持水量逐渐趋于稳定。这一现象说明,在自然降雨过程中,干燥的枯落物能够迅速吸水,但当吸水接近最大持水量后,其吸水能力基本恒定。由图 1 可知,木荷—油茶林枯落物各浸水阶段,枯落物累积持水量都高于其他类型的生态公益林。除去木荷—油茶林之后,相同浸水时长枯落物累积持水量呈现桉树—鹅掌柴林>马占相思—岭南山竹子林>浙江润楠—豺皮樟林>湿地松—九节林。

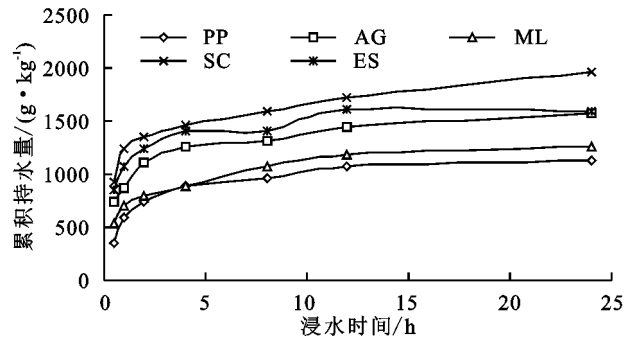
由图 2 可知,5 种生态公益林林下枯落物的吸水速率开始时为最大值,随浸水时间增加,先迅速下降,2 h 之后吸水速率明显减缓,浸泡 24 h 后,吸水速率逐渐趋近于 0。这种规律的出现主要是由于枯落物才浸水时,枯落物表面与内部间的水势差距较大,枯落物吸水速率最大,随时间增加,水势差减小,直至变为 0,枯落物达到最大持水量,吸水速率趋近于 0。

为了进一步明确不同类型生态公益林枯落物的持水量、吸水速率与浸泡时间的关系,通过回归拟合发现,累积持水量与浸水时间呈显著的对数关系,吸水速率与

浸水时间呈显著的幂函数关系。拟合关系式见表 3,累积持水量与浸水时间拟合基本关系式为:

$$Q=a\ln t+b$$

式中:Q 为浸泡 t 时间的枯落物持水量(g/kg);t 为枯落物浸水时间(h);a 为方程系数;b 为方程常数项。



注:PP 为湿地松—九节林;AG 为马占相思—岭南山竹子林;ML 浙江润楠—豺皮樟林;SC 为木荷—油茶林;ES 为桉树—鹅掌柴林。下同。

图 1 东莞不同类型生态公益林枯落物累积持水量与浸泡时间关系

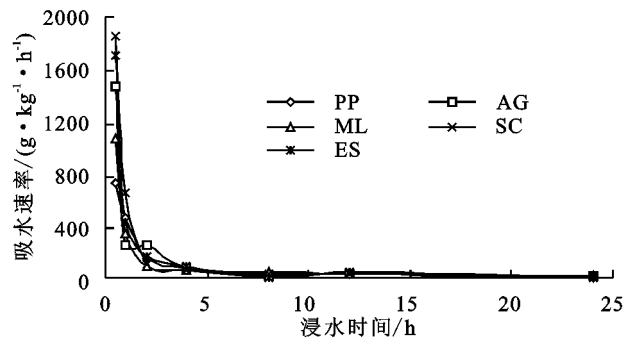


图 2 东莞不同类型生态公益林枯落物吸水速率与浸泡时间关系

吸水速率与浸水时间拟合基本关系式为:

$$V=ct^n$$

式中:V 为枯落物吸水速率(g/(kg·h));c 为方程回归系数;n 为方程的指数。

表 3 东莞不同类型生态公益林枯落物持水量、吸水速率与浸泡时间关系

林分类型	Q 与 t 的关系		V 与 t 的关系	
	拟合关系式	R ²	拟合关系式	R ²
湿地松—九节林	Q=197.158ln t+564.241	0.973	V=371.174t ^{-1.262}	0.959
马占相思—岭南山竹子林	Q=216.544ln t+902.300	0.983	V=425.194t ^{-1.217}	0.938
浙江润楠—豺皮樟林	Q=188.913ln t+673.956	0.990	V=335.189t ^{-1.118}	0.951
木荷—油茶林	Q=238.363ln t+1154.962	0.968	V=483.327t ^{-1.170}	0.905
桉树—鹅掌柴林	Q=194.04ln t+1056.715	0.940	V=408.438t ^{-1.972}	0.554

2.2.2 枯落物失水动态 枯落物失水过程能很好地体现枯落物的保水能力。不同类型生态公益林枯落物累积失水量在失水初期失水量较小,随时间增加逐渐增大,在 24 h 达到最大值,但并未达到稳定,枯落物中保存着一定量的水分。由图 3 可知,在整个失水试验中,浙江润楠—豺皮樟林累积失水增幅最小,失水量也最小,说明其保水能力较强。桉树—鹅掌柴

林、湿地松—九节林失水过程中累积失水量较高,保水能力不强,尤其是桉树—鹅掌柴林,随时间增加,其失水量都比其他类型生态公益林高。马占相思—岭南山竹子林、木荷—油茶林枯落物累积失水量处于中间水平。不同类型生态公益林枯落物 0~2 h 的失水速率下降明显,随时间增加失水速率逐渐减弱,12 h 后趋于稳定。为明确不同类型生态公益林枯落物的

累积失水量、吸水速率与浸泡时间的关系,通过回归拟合(表 4)发现,在模拟监测的 24 h 内,累积失水量与失水时间呈显著的 3 次关系,这是因为模拟失水 24 h 后,枯落物还有 30%左右水分,其累计失水量在 24 h 失水时间内,随着失水时间推移,累积失水量逐

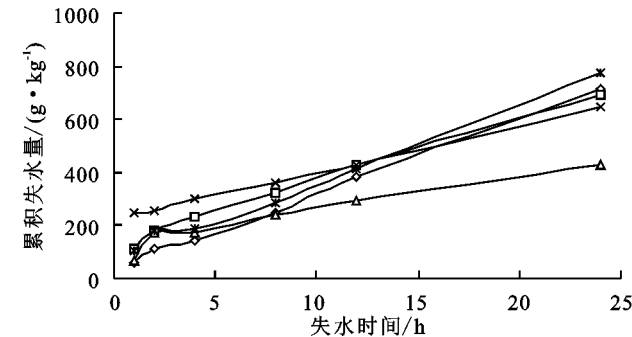


图 3 东莞不同类型生态公益林枯落物累积失水量、失水速率与失水时间关系

表 4 东莞不同类型生态公益林枯落物失水量、失水速率与失水时间关系

林分类型	Q 与 t 的关系		V 与 t 的关系	
	拟合关系式	R ²	拟合关系式	R ²
湿地松—九节林	$Q=53.01+19.02t+0.98t^2-0.026t^3$	0.998	$V=23.416+t/37.641$	0.656
马占相思—岭南山竹子林	$Q=82.706+42.47t-1.68t^2+0.041t^3$	0.997	$V=13.584+t/96.842$	0.971
浙江润楠—豺皮樟林	$Q=65.477+37.35t-2.21t^2+0.054t^3$	0.989	$V=4.754+t/101.038$	0.895
木荷—油茶林	$Q=226.77+18.34t-0.197t^2+0.007t^3$	0.999	$V=13.584+t/96.842$	0.771
桉树—鹅掌柴林	$Q=105.29+19.78t+0.57t^2-0.01t^3$	0.994	$V=15.363+t/88.52$	0.767

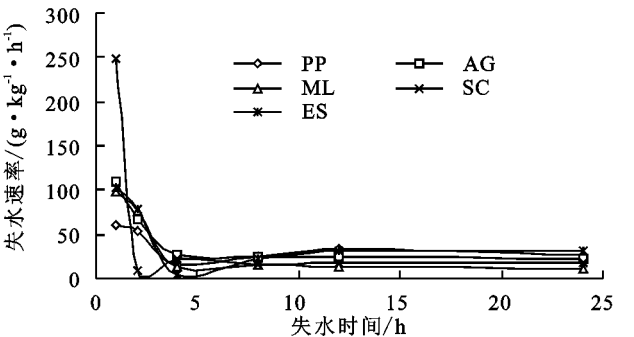
2.3 不同类型生态公益林土壤物理性质及持水能力分析

由图 4 可知,东莞不同类型生态公益林林下土壤容重无显著差异,其中湿地松—九节林土壤容重最大,其余类型生态公益林土壤容重几乎相同,且都小于 1,这说明东莞生态公益林林下土壤层质地较好。东莞市 5 种不同类型生态公益林土壤非毛管孔隙度的范围为 14.21%~18.60%,最大的是湿地松—九节林,最小的是浙江润楠—豺皮樟林;毛管孔隙度的范围是 19.25%~26.35%,最大的是桉树—鹅掌柴林,最小的是湿地松—九节林;总孔隙度的变化范围为 37.85%~43.67%,桉树—鹅掌柴林最高,湿地松—九节林最小。由图 4 和图 5 可知,不同类型林分土壤持水量与不同孔隙度的大小直接相关,土壤总孔隙度和毛管孔隙度越高,土壤的容重越小,土壤持水性能越强,土壤保水能力越好。土壤非毛管孔隙度越高,土壤的透水、通气性也较高,涵养水源能力也会较强。

3 讨论

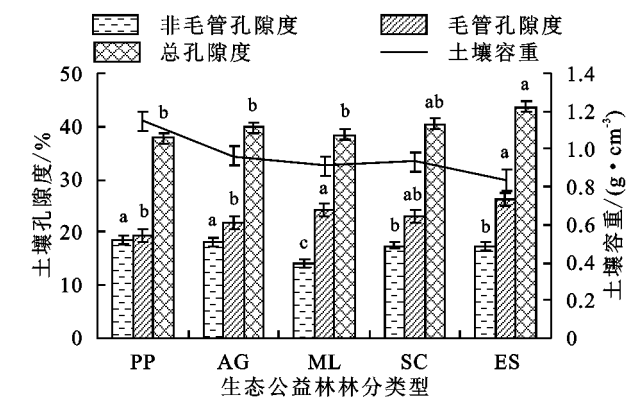
森林是水循环的重要调节者之一^[15]。森林持水性能主要受土壤层及枯落物层共同影响。因此,森林水文效应的研究离不开枯落物和土壤。枯落物现存量是森林枯落物产量与其分解量动态平衡的结果,本研究发现,5 种经过近自然经营后纳入生态公益林的

渐增加。失水速率与失水时间呈显著的倒数关系,枯落物失水前期,枯落物整体含水量较高,小部分水蒸发失去,大部分水因为水重力作用大于枯落物吸水力,流出枯落物,故前期失水速率较快;失水后期,枯落物只有蒸发失水过程,失水速率逐渐减小。



30 年左右的森林,湿地松—九节林枯落物厚度最大,生物量也最大。通过枯落物厚度与生物量的相关性分析发现,两者呈显著的正相关关系,这与吴晓光等^[15]、廖文海等^[4]的研究结果一致。枯落物截持降水的能力主要受枯落物的现存量、组分、分解程度以及持水特性等因素的影响,枯落物较高的含水量有利于提高森林植被的养分供应^[18]。在自然条件下,枯落物对降雨的截持作用受降雨量、降雨时间以及坡度、坡位、枯落物类型等因素的影响,因此,枯落物最大持水量有可能高估其对降雨的实际拦蓄量,为此,本研究计算了有效拦蓄量,不同生态公益林对降雨有效拦蓄量从大到小依次为:湿地松—九节林、桉树林、浙江润楠—豺皮樟林、木荷—油茶林、马占相思—岭南山竹子林,这结果与刘艳等^[18]、刘一霖等^[6]、张亚庆等^[10]的研究结果一致,针叶林具有较高的枯落物生物量,因此较其他类型生态公益林有效拦蓄量高。研究表明,5 种生态公益林枯落物浸水时间与持水量呈显著对数函数关系,其枯落物浸水时间与吸水速率呈显著幂函数关系,这与已有研究^[19-20]结果一致;累积失水量与失水时间呈显著的 3 次关系,失水速率与失水时间呈显著的倒数关系。林地的蓄水能力是评价森林涵养水源的重要指标,主要受土壤层深度和孔隙度的影响^[16]。在研究不同生态公益林林下土壤物理性质和持水能力时发现,土壤持水能力

主要与土壤毛管孔隙度和总毛管孔隙度相关。大面积单一树种纯林,通过近自然经营,增加了生物多样性,改善林分结构,提高枯落物、土壤水源涵养功能和土壤肥力,这与何友均等^[21]、陈伟光等^[22]研究结果一致。不同植被类型下枯落物持水性、土壤理化性质存在明显差异^[23]。



注:图柱上方不同小写字母表示不同林分类型间差异显著($P<0.05$)。下同。

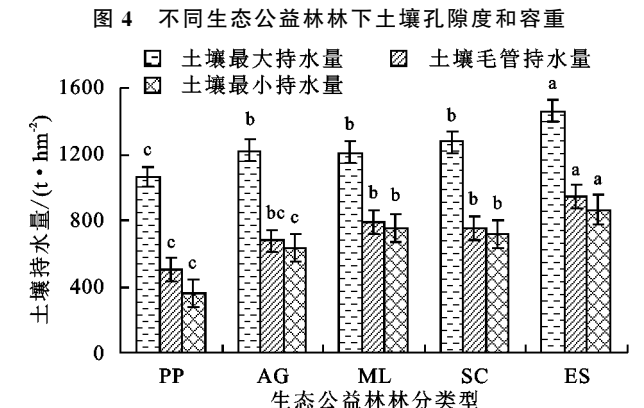


图5 不同生态公益林林下土壤持水量

4 结论

东莞5种不同类型林下枯落物厚度范围为1.5~10.5 cm,枯落物的生物量与其厚度有显著的正相关关系($r=0.790, P<0.01$)。枯落物最大持水量、有效拦蓄量都与枯落物生物量呈极显著的正相关关系($r=0.977, P<0.01$)。不同类型生态公益林枯落物最大持水量和有效拦蓄力量由大到小都分别为湿地松—九节林、马占相思—岭南山竹子林、浙江润楠—豺皮樟林、木荷—油茶林、桉树—鹅掌柴林。

东莞市不同类型生态公益林林分枯落物浸泡初期的2 h内,枯落物持水量增加速率最快,之后增加速率变慢,在浸泡超过12 h后,枯落物累积持水量逐渐趋于稳定。5种生态公益林枯落物累积持水量与浸水时间呈显著的对数关系,吸水速率与浸水时间呈显著的幂函数关系。

不同类型生态公益林枯落物累积失水量在失水

初期失水量较小,随时间增加逐渐增大,在24 h达到最大值,但并未达到稳定,回归拟合发现,累积失水量与失水时间呈显著的3次关系,失水速率与失水时间呈显著的倒数关系。

东莞不同类型生态公益林林下土壤容重无显著差异,湿地松—九节林土壤容重最大。不同类型林分土壤持水量与不同孔隙度的大小直接相关,土壤总孔隙度和毛管孔隙度越高,土壤的容重越小,土壤保水能力越好。

参考文献:

[1] 贺淑霞,李叙勇,莫菲,等.中国东部森林样带典型森林水源涵养功能[J].生态学报,2011,31(12):3285-3295.

[2] 王洪岩,王文杰,邱岭,等.兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异[J].生态学报,2012,32(3):833-843.

[3] 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.

[4] 廖文海,曾春兴,孙欧文,等.浙江省江山市不同森林类型枯落物持水性能[J].浙江林业科技,2019,39(6):63-68.

[5] 王玲,赵广亮,周红娟,等.八达岭林场不同密度油松人工林枯落物水文效应[J].生态环境学报,2019,28(9):1767-1775.

[6] 刘一霖,温娅檬,李巧玉,等.川西高山峡谷区6种森林枯落物的持水与失水特性[J].水土保持学报,2019,33(5):151-156,162.

[7] 王晓学,沈会涛,李叙勇,等.森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法[J].生态学报,2013,33(4):1019-1030.

[8] 王鹏程.三峡库区森林植被水源涵养功能研究[D].北京:中国林业科学研究院,2007.

[9] 宫殷婷.百花山5种典型林分枯落物蓄积量及持水特征[J].林业资源管理,2019(3):113-117,146.

[10] 张亚庆,胡慧蓉.滇中磨盘山几种典型林分枯落物及土壤的持水特性[J].江苏农业科学,2019,47(15):296-301.

[11] 叶永昌,苏志尧.东莞城市森林生态建设模式与评价[M].北京:中国林业出版社,2008:1-4.

[12] 张志兰,郑云泽,于秀娟.重庆市几种常见经济林凋落物持水性能研究[J].中国水土保持,2019,443(2):59-62.

[13] 杨家慧,谭伟,卯光宪,等.黔中不同龄组柳杉人工林枯落物水源涵养能力综合评价[J].水土保持学报,2020,34(2):296-301.

[14] 郭宇嘉,牛庆花,陆贵巧,等.承德市第三乡林场不同林分类型枯落物和土壤的持水特性[J].水土保持通报,2018,38(3):38-44.

[15] 吴晓光,刘龙,张宏飞,等.砬砂岩区主要造林树种枯落物持水性能及土壤物理性质[J].水土保持学报,2020,34(4):137-144.

法指南[M].北京:科学出版社,2019.

- [8] 朱嘉伟,谢晓彤,李心慧.生态环境承载力评价研究:以河南省为例[J].生态学报,2017,37(21):7039-7047.
- [9] Chen Y Z, Lu H W, Li J, et al. Multi-criteria decision making and fairness evaluation of water ecological carrying capacity for inter-regional green development[J].Environmental Science and Pollution Research, 2020, 28(6):6470-6490.
- [10] 刘世梁,武雪,朱家骞,等.耦合景观格局与生态系统服务的区域生态承载力评价[J].中国生态农业学报,2019,27(5):694-704.
- [11] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- [12] Su K, Wei D Z, Lin W X. Evaluation of ecosystem services value and its implications for policy making in China: A case study of Fujian province[J].Ecological Indicators,2020,108:e105752
- [13] Wu T X, Sang S, Wang S D, et al. Remote sensing assessment and spatiotemporal variations analysis of ecological carrying capacity in the Aral Sea Basin[J].Science of The Total Environment, 2020,735:e139562.
- [14] He Y F, Xie H L. Exploring the spatiotemporal changes of ecological carrying capacity for regional sustainable development based on GIS: A case study of Nanchang City[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019,148:e119720.
- [15] Baniya B, Tang Q H, Pokhrel Y, et al. Vegetation dynamics and ecosystem service values changes at national and provincial scales in Nepal from 2000 to 2017[J].Environmental Development, 2019,32:e100464.
- [16] Xing L, Hu M S, Wang Y. Integrating ecosystem services value and uncertainty into regional ecological

risk assessment: A case study of Hubei Province, Central China[J].Science of the Total Environment, 2020,740:e140126.

- [17] Li B Y, Wang W, Wang Y C. Identifying the relationships among multiple ecosystem services[J].Journal of Arid Environments, 2020, 183:e104265.
- [18] 白玛卓嘎,肖燚,欧阳志云,等.基于生态系统生产总值核算的习水县生态保护成效评估[J].生态学报,2020,40(2):499-509.
- [19] 郝庆,邓玲,封志明.国土空间规划中的承载力反思:概念、理论与实践[J].自然资源学报,2019,34(10):2073-2086.
- [20] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, et al. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital[J].Science,2016,352(6292):1455-1459.
- [21] 中华人民共和国自然资源部.自然资源部办公厅关于印发《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价指南(试行)》的函[EB/OL].(2020-1-19)[2020-6-30].http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200121_2498502.html.
- [22] 张灿,徐涵秋,张好,等.南方红壤典型水土流失区植被覆盖度变化及其生态效应评估:以福建省长汀县为例[J].自然资源学报,2015,30(6):917-928.
- [23] 朱治州,钟业喜.长江三角洲城市群土地利用及其生态系统服务价值时空演变研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(7):1520-1530.
- [24] Xie G D, Zhang C X, Zhen L, et al. Dynamic changes in the value of China's ecosystem services[J].Ecosystem Services,2017,26(A):146-154.
- [25] 黄序和,李立国,中华人民共和国民政部.中华人民共和国政区大典[M].福建省卷上下册.北京:中国社会科学出版社,2016.
- [26] 周伟东,汪小钦,吴佐成,等.1988—2013年南方花岗岩红壤侵蚀区长汀县水土流失时空变化[J].中国水土保持科学,2016,14(2):49-58.

(上接第 149 页)

- [16] 牛勇,汪滨,王玲,等.北京土石山区 4 种典型林分的水文效应研究[J].水土保持研究,2015,22(5):113-117,121.
- [17] 王忠诚.湖南省国家级公益林生态效益监测与评价研究[D].长沙:中南林业科技大学,2013.
- [18] 刘艳,孙向阳,范俊岗,等.辽宁省森林枯落物现存量及其持水性能[J].应用基础与工程科学学报,2017,25(4):689-699.
- [19] 曹云生,赵艳玲.不同灌木林分枯落物层与土壤层水源涵养能力研究[J].水土保持研究,2019,26(6):179-183.
- [20] 兰亚男,孙旭,秦富仓,等.阴山北麓不同林分类型枯落

物层持水性能研究[J].水土保持研究,2019,26(6):151-157.

- [21] 何友均,梁星云,覃林,等.南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响[J].生态学报,2013,33(8):2484-2495.
- [22] 陈伟光,张卫强,张卫华,等.南亚热带桉树林和针阔混交林土壤及凋落物持水能力比较[J].广东林业科技,2014,30(5):35-42.
- [23] 康冰,刘世荣,蔡道雄,等.南亚热带不同植被恢复模式下土壤理化性质[J].应用生态学报,2010,21(10):2479-2486.