

赣江中游水源涵养林乔木和蕨类植物凋落物持水和失水特征

李素丽, 徐佳文, 丁翊东, 毛 蓉

(江西农业大学林学院, 国家林业和草原局鄱阳湖流域森林生态系统保护与修复实验室, 南昌 330045)

摘要: 选取赣江中游典型水源涵养林中常见的 3 种常绿针叶树、3 种落叶阔叶树、4 种常绿阔叶树和 5 种蕨类植物的凋落叶, 通过室内浸泡试验和失水试验研究了植物凋落物的持水和失水特征。结果表明: (1) 凋落物的吸水速率均显示随浸泡时间增加而降低的趋势, 到 8 h 基本趋于平缓, 24 h 达到饱和状态, 而失水速率随着失水时间的增加逐渐减少, 到 12 h 后趋于稳定; (2) 蕨类植物凋落物的饱和持水量(202.5%)显著高于落叶阔叶树(173.0%)、常绿阔叶树(124.6%)和常绿针叶树(86.5%), 而 24 h 内蕨类植物的失水量(65.4%)与落叶阔叶树(65.4%)之间没有显著差异, 但均高于常绿阔叶树(53.6%)和常绿针叶树(42.8%); (3) 凋落物饱和持水量和平均失水速率与其初始密度呈显著负相关(R^2 分别为 0.428 和 0.266), 而与初始比叶面积呈显著正相关(R^2 分别为 0.488 和 0.398), 这表明叶密度和比叶面积是决定物种间凋落物持水和失水特征差异的重要因素。研究结果揭示了蕨类植物凋落物在森林水源涵养功能中的重要作用, 为赣江中游水源涵养林生态系统服务功能评估和林业管理措施制定提供科技支撑。

关键词: 饱和持水能力; 林下植被; 水土保持; 植物功能群; 吸水速率

中图分类号: S715.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)03-0170-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2021.03.024

Litter Water-holding and Water-loss Characteristics of Trees and Ferns in the Water Conservation Forests at the Middle Reaches of the Gan River

LI Suli, XU Jiawen, DING Yidong, MAO Rong

(Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Forest Ecosystem Protection and Restoration of Poyang Lake Watershed, College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045)

Abstract: In this study, we collected leaf litter of three evergreen coniferous trees, three deciduous broadleaf trees, four evergreen broadleaf trees, and five ferns in the water conservation forests at the middle reaches of the Gan River, and compared the interspecific differences in litter water-holding and water-loss characteristics using the laboratory soaking and water loss experiments. The results showed that, for all species, litter water absorption rate showed a decreasing trend with soaking time in the initial 8 hours, and then did not change with soaking time. Similarly, litter water loss rate decreased with water loss time in the initial 12 hours, and then remained constant. After 24 hours of soaking, fern (202.5%) had higher litter saturated water holding capacity than deciduous broadleaf trees (173.0%), evergreen broadleaf trees (124.6%), and evergreen coniferous trees (86.5%). In addition, both deciduous broadleaf trees (65.4%) and ferns (65.4%) had higher litter water loss capacity than evergreen broadleaf trees (53.6%) and evergreen coniferous trees (42.8%). Both saturated water holding capacity and mean water loss rate of leaf litter were negatively correlated with the initial litter tissue density ($R^2 = 0.428$ and 0.266 , respectively), but positively correlated with the initial specific leaf area ($R^2 = 0.488$ and 0.398 , respectively). These results indicated that litter tissue density and specific leaf area were the important factors controlling the interspecific variations of water-holding and water-loss capacity of leaf litter among plant functional groups. Our observations highlight the importance of understory fern litter to forest water conservation function, which would be helpful to the future evaluation of ecosystem services and development of management practices in the water conservation forests at the middle reaches of the Gan River.

收稿日期: 2020-11-13

资助项目: 国家自然科学基金项目(32060295); 江西省“双千计划”项目(jxsq2018106044)

第一作者: 李素丽(1994—), 女, 硕士研究生, 主要从事森林水土保持研究。E-mail: 2932703846@qq.com

通信作者: 毛蓉(1981—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事森林生态与全球变化研究。E-mail: maorong@jxau.edu.cn

Keywords: saturated water holding capacity; understory vegetation; soil and water conservation; plant functional groups; water absorption rate

森林凋落物是指森林生态系统中植物器官因死亡而归还到土壤的所有有机物质的总称。由于其结构疏松、透水性好以及持水能力强等特点,森林凋落物不仅能直接吸收大气降水,缓冲林内降水对土壤表面的直接冲刷作用,而且能增加地表粗糙度和提高土壤水分渗透能力,减少地表径流的形成,在涵养水源和控制水土流失等方面发挥着关键作用,对于维持森林生态水文功能具有极为重要的意义^[1-2]。森林凋落物的持水特征被认为是森林水文生态功能的重要指标之一,主要包括吸水和失水2个过程^[3-4]。已有研究^[4-6]发现,由于凋落物初始物理和化学特性的影响,树种种类被认为是影响森林凋落物持水能力的主要因素。近年来,关于乔木树种凋落物持水能力的研究已广泛展开,并在森林水源涵养功能评价和水源涵养林建设中发挥着重要的理论指导作用。然而,相对于乔木层树种而言,林下植被凋落物的持水特性却很少受到关注。最近的一些研究^[7-8]指出,作为森林垂直结构上的重要组成部分,林下植被在降雨截留和再分配、水源涵养等方面发挥着不可替代的作用。而且,由于植物功能特性和生存策略的差异^[7,9],乔木树种和林下植被凋落物持水和失水特征可能会存在较大的差异,但由于相关信息的缺乏,导致人们对森林水源涵养功能的认识并不完整。因此,开展乔木层树种和林下植被凋落物持水能力的对比研究,对于准确认知和评价森林的水文生态功能以及制定合理的林业管理措施具有重要的科学意义。

赣江是江西省最大的河流,长江的第二大支流,被誉为江西的“母亲河”。由于历史上长期不合理的开发利用,江西省赣江流域森林植被遭到了严重的破坏,导致该区域土壤侵蚀加剧,水源涵养功能降低,目前已成为我国南方水土流失最严重的区域之一^[10]。因此,水土流失已成为赣江流域的主要环境问题,严重威胁到区域生态安全和社会经济的可持续发展。从20世纪90年代开始,赣江流域建设了大面积以恢复植被和控制水土流失为目标的水源涵养林^[10-12]。而且,随着林分的发育,蕨类植物逐渐成为水源涵养林林下植被的优势类群^[11]。尽管该区域乔木树种凋落物的水文功能已开始受到关注^[12],但关于林下蕨类植物凋落物的研究则鲜有报道。为此,开展赣江流域典型水源涵养林乔木和蕨类植物凋落物持水特性的研究,对于揭示林下植被水源涵养能力、评估森林水文生态功能和保障区域生态安全具有极为重要的意义。

本研究在江西省赣江中游泰和县选取典型水源

涵养林为研究对象,收集了常见的常绿针叶树、落叶阔叶树、常绿阔叶树和蕨类植物4个植物功能群15个物种,通过对比研究乔木树种和蕨类植物叶片凋落物的吸水和失水特征,旨在提升对森林水文生态功能的认识,并为赣江中游水源涵养林生态效益的提升以及林业管理政策的科学制定提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究区位于江西省泰和县螺溪镇(26°55′16″N, 114°48′14″E),气候为亚热带季风湿润性气候,年均气温为18.6℃,年均降水量1750mm,降水多集中于4—6月,约占全年降水量的49%,土壤类型为第四纪红色黏土发育而来的典型红壤。20世纪80年代以前,由于长期的樵采、放牧、开垦等人为干扰,水土流失极为严重,原生常绿阔叶林已退化成植被覆盖度极低的荒山。1991年,研究区开始实施以消灭荒山为目标的植树造林工程,主要造林树种为枫香(*Liquidambar formosana*)、木荷(*Schima superba*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、湿地松(*Pinus elliottii*)等^[12]。目前,研究区内植被覆盖度已大幅度提升,物种多样性明显提高,森林类型逐渐由人工林向次生林演替,而且蕨类植物已成为林下植被层的优势物种。

1.2 样品采集

2019年8月中旬,在研究区选取6块面积为100m×100m的典型林分,林分基本信息见表1。在每个林分内选取15个共有物种作为研究对象,其中常绿针叶树3种(马尾松、湿地松和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)),落叶阔叶树3种(枫香、白栎(*Quercus fabri*)和青榨槭(*Acer davidii*)),常绿阔叶树4种(木荷、刨花楠(*Machilus pauhoi*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)和火力楠(*Michelia macclurei*)),蕨类植物5种(乌毛蕨(*Blechnum orientale*)、阔鳞鳞毛蕨(*Dryopteris championii*)、乌韭(*Odontosoria chinensis*)、芒萁(*Dicranopteris pedata*)和狗脊(*Woodwardia japonica*))。对于10个乔木树种,从2019年10月至2020年3月每半个月到样地内收集地表新鲜凋落的叶片凋落物;对于蕨类植物,从2019年10—12月每半个月在刚自然死亡的立枯上收集叶片凋落物。将每个物种的凋落叶带回实验室后烘干(温度约65℃),用于测定叶片密度、比叶面积以及持水和失水特性。

1.3 指标测定

凋落叶密度采用排水法测定,比叶面积根据叶面积与叶片的干重计算得到^[9],其中叶面积使用Epson

10000X 扫描仪(Seiko Epson Co., Nagano, Japan)扫描, 通过 Image J 软件(<https://imagej.nih.Gov/>)计算得出。

表 1 林分基本信息

编号	坡向	优势树种	林分密度/ (株·hm ⁻²)	郁闭度/%	林下植被 盖度/%	树木 胸径/cm	树高/m	土壤 类型
1	NE	湿地松、木荷	825	0.56	38	14.3	8.98	红壤
2	SE	马尾松	1650	0.55	51	11.4	7.39	红壤
3	SW	马尾松、枫香	1070	0.59	48	13.6	8.33	红壤
4	NE	马尾松	1312	0.63	55	12.1	7.65	红壤
5	SW	马尾松、木荷	1030	0.65	37	13.5	8.25	红壤
6	SE	枫香、木荷	925	0.70	30	15.1	8.63	红壤

凋落叶的持水特性采用浸泡法^[13-14]测量。对于每个物种,称取 1.5 g 烘干的凋落叶放入到纯净水中浸泡,在浸泡 0.5,1,2,4,6,8,12,24 h 时将凋落叶从水中取出,用滤纸把凋落叶表面的水吸掉,然后称重,计算凋落叶在不同时间的持水量和吸水速率。在凋落叶浸泡 24 h 后将叶片表面水吸掉后放置于室内(约 25 ℃)自然风干,在风干 0.5,1,2,4,6,8,12,24 h 后分别将凋落叶称重,计算凋落叶在不同时间的失水量和失水速率^[4]。凋落物的持水性能计算方法^[15]为:

凋落叶持水量(%)=($M_{t_1}-M_0$) $\times$ 100/ M_0 。

凋落叶吸水速率(g/(g·h))=($M_{t_1}-M_0$)/($M_0\times t_1$)

凋落叶失水量(%)=($m_{t_{24}}-m_{t_2}$) $\times$ 100/ $m_{t_{24}}$

凋落叶失水速率(g/(g·h))=($m_{t_{24}}-m_{t_2}$)/($m_{t_{24}}\times t_2$)

式中: M_{t_1} 为凋落叶浸泡 t_1 时间后的重量(g), M_0 为凋落叶的初始干重(g); t_1 为凋落叶浸泡吸水的时间(h); $m_{t_{24}}$ 为凋落叶浸泡 24 h 后的重量(g); m_{t_2} 为风干 t_2 时间后的凋落叶重量(g); t_2 为风干时间(h)。本研究中,植物凋落物的饱和持水量为凋落物浸泡 24 h 后的持水量,平均失水速率为凋落物 24 h 内的平均失水速率。在植物功能群水平上,叶片凋落物持水和失水特性为功能群内所有物种所对应特性的平均值。

1.4 数据处理

本研究使用 SPSS 13.0 (SPSS Inc., Chicago, USA)软件进行数据分析,采用 Origin 9.0 软件作图。在统计分析前,采用 Shapiro-Wilks test 对所有数据进行正态分布检验。在植物功能群水平上,凋落叶饱和持水率、吸水特性、密度和比叶面积的差异使用单因素方差分析和 LSD 最小显著差异法分析。采用简单线性模型分析凋落叶饱和持水量和失水速率与初始密度的相关性,采用非线性模型分析凋落叶饱和持水量和失水速率与比叶面积的相关性。所有统计分析的显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 植物凋落叶的吸水动态特征和饱和持水量

由图 1 可知,植物凋落叶的持水量均随浸泡时间的增加而增长,在浸泡前 2 h 内持水量增加较快,随

后缓慢上升,至 24 h 达到饱和持水状态。整体来看,蕨类植物凋落叶在每个时间点的持水量均为最高,随后依次为落叶阔叶树、常绿阔叶树以及常绿针叶树。相反地,植物凋落叶的吸水速率均随浸泡时间增加而呈现逐渐降低的趋势,在 24 h 时吸水速率基本接近于 0,即已达到饱和持水状态。在初始浸泡的 1 h 内,蕨类植物凋落叶吸水速率显著高于其余 3 个植物功能群。然而,随着浸泡时间的增加,蕨类植物和落叶阔叶树之间凋落叶吸水速率没有显著差异,但均显著高于常绿阔叶树种与常绿针叶树种。

在物种和植物功能群水平上,凋落叶的饱和持水量均存在显著的差异(表 2)。对于选取的 15 个物种来说,凋落叶的饱和水量变异范围为 61.3%~236.7%。在物种水平上,植物凋落叶饱和持水量的大小依次为乌韭(236.7%)>乌毛蕨(216.8%)>阔鳞鳞毛蕨(212.0%)>狗脊(208.5%)>青榨槭(206.9%)>白栎(190.7%)>刨花楠(143.1%)>芒萁(138.4%)>火力楠(137.6%)>青冈(122.8%)>枫香(121.5%)>杉木(115.6%)>木荷(95.1%)>马尾松(82.7%)>湿地松(61.3%)。在植物功能群水平上,凋落叶的饱和持水量大小依次为蕨类植物(202.5%)>落叶阔叶树种(173.0%)>常绿阔叶树种(124.6%)>常绿针叶树种(86.5%)。

2.2 植物凋落叶的失水动态特征

由图 2 可知,在 24 h 的失水时间里,植物凋落叶的失水量随着失水时间的增加而不断增加,总体可分为 3 个阶段,在 0.5~2 h 内失水量增加较快,在 2~12 h 期间缓慢增加,在 12~24 h 内失水量总体趋于稳定,在 24 h 时失水量达到最大值。在 24 h 失水时间内,蕨类植物的失水量(65.4%)与落叶阔叶树种(65.4%)没有显著差异,但均显著高于常绿针叶树种(42.8%)和常绿阔叶树种(53.6%)。凋落叶失水速率在前 2 h 内降低的幅度较大,然后随着失水时间的增加而缓慢下降,最后趋于稳定。由表 2 可知,在 24 h 内,蕨类植物(2.71 g/(g·h))与落叶阔叶树种(2.72 g/(g·h))的平均失水速率没有显著差异,但均显著高于常绿针叶树种(1.78 g/(g·h))和常绿阔叶树种(2.23 g/(g·h))。

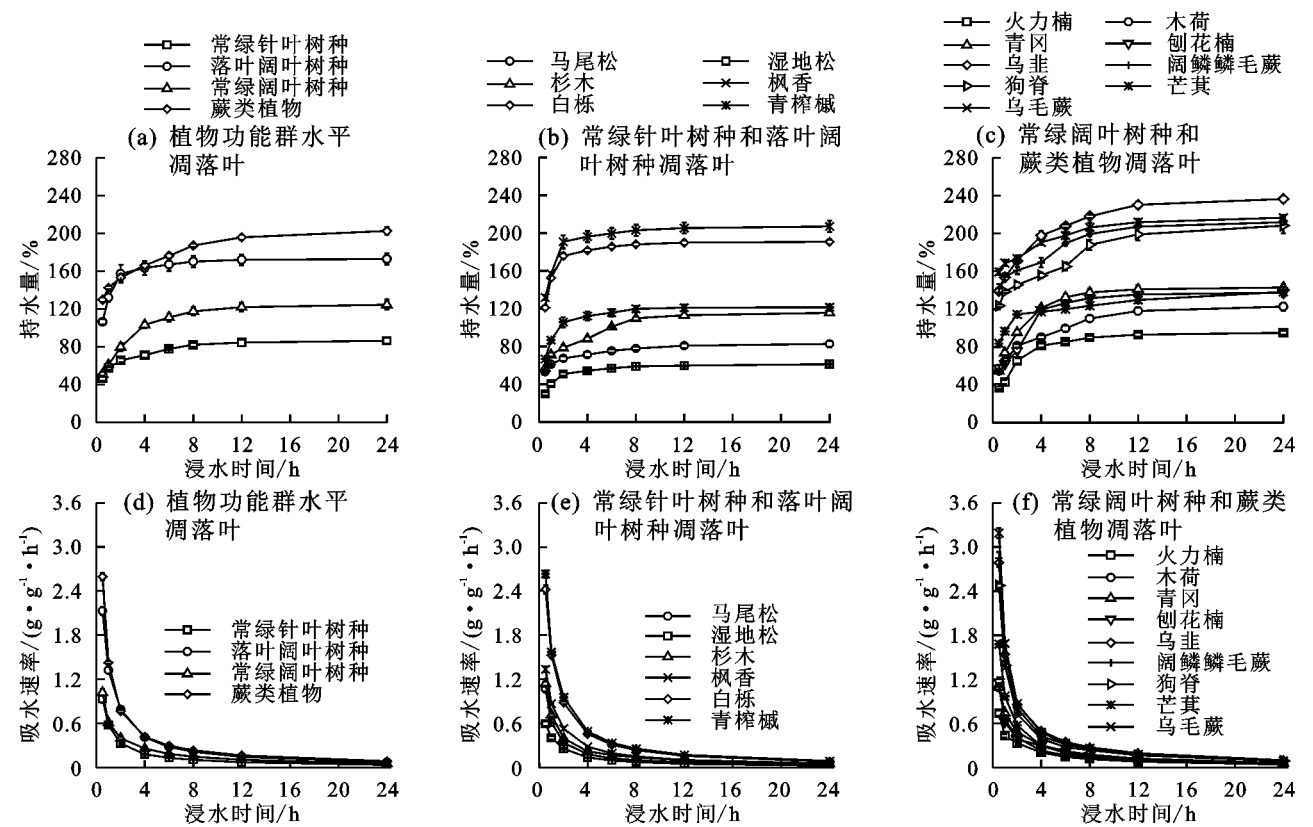


图 1 植物凋落叶持水量和吸水速率的动态变化特征

表 2 植物凋落叶密度、比叶面积、饱和持水量和平均失水速率

植物功能群	物种	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	比叶面积/ ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	饱和持水量/ %	平均失水速率/ ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
常绿针叶树种	马尾松	0.673(0.005)	93.7(0.3)	82.7(3.2)	1.74(0.09)
	湿地松	0.657(0.006)	67.7(0.9)	61.3(0.4)	1.45(0.04)
	杉木	0.515(0.014)	101.6(0.9)	115.6(2.8)	2.16(0.02)
	枫香树	0.798(0.010)	90.6(1.3)	121.5(3.0)	2.56(0.04)
落叶阔叶树种	白栎	0.419(0.007)	129.7(0.5)	190.7(2.6)	2.69(0.04)
	青榨槭	0.383(0.004)	136.7(0.6)	206.9(6.1)	2.92(0.05)
	火力楠	0.648(0.007)	78.4(1.2)	137.6(1.7)	2.34(0.03)
常绿阔叶树种	木荷	0.429(0.006)	88.4(1.4)	95.1(2.3)	1.95(0.06)
	青冈	0.521(0.006)	80.4(0.2)	122.8(4.5)	2.24(0.09)
	刨花楠	0.555(0.009)	87.3(0.4)	143.1(3.8)	2.40(0.06)
	乌桕	0.228(0.003)	214.0 (0.7)	236.7(3.8)	2.93(0.02)
	阔鳞鳞毛蕨	0.213(0.002)	180.3(0.6)	212.0(2.2)	2.73(0.10)
蕨类植物	狗脊	0.444(0.004)	96.8(0.5)	208.5(8.1)	2.76(0.13)
	芒萁	0.293(0.003)	219.1(1.0)	138.4(5.3)	2.35(0.06)
	乌毛蕨	0.485(0.003)	176.3(0.4)	216.8(3.1)	2.79(0.03)
常绿针叶树种		0.615(0.006)a	87.7(0.3)c	86.5(1.5)d	1.78(0.02)c
落叶阔叶树种		0.533(0.005)b	118.9(0.4)b	173.0(2.7)b	2.72(0.01)a
常绿阔叶树种		0.538(0.004)b	83.6(0.5)d	124.6(2.3)c	2.23(0.02)b
蕨类植物		0.333(0.002)c	177.2(0.2)a	202.5(1.7)a	2.71(0.01)a

注:同列不同小写字母表示植物功能群间凋落叶属性差异显著($P<0.05$);括号内数据为标准误差。

2.3 凋落叶密度和比叶面积及其与饱和持水量和失水速率之间的关系
不同植物功能群间的凋落叶密度和比叶面积存在较大的差异(表 2)。总体而言,蕨类植物的凋落叶

密度最小(0.333 g/cm^3),常绿针叶树种的凋落叶密度最大(0.615 g/cm^3),而落叶阔叶树种(0.533 g/cm^3)和常绿阔叶树种(0.538 g/cm^3)居中(表 2)。对于比叶面积而言,蕨类植物凋落叶最大($177.2 \text{ cm}^2/$

g),落叶阔叶树种(118.9 cm²/g)次之,而常绿阔叶树种(83.6 cm²/g)和常绿针叶树种(87.7 cm²/g)最低。而且,凋落叶的饱和持水量和平均失水速率与其初始密度呈显著负的线性相关关系(R^2 分别为 0.428 和 0.266),与其比叶面积呈显著正的对数函数相关关系(R^2 分别为 0.488 和 0.398)(图 3)。这意味着,凋落

叶的密度越大,比叶面积越小,饱和持水量和平均失水速率越低。因此,蕨类植物凋落叶的密度最小,比叶面积最大,其饱和持水量显著高于落叶阔叶树种、常绿阔叶树种和常绿针叶树种(表 2)。蕨类植物和落叶阔叶树种凋落叶的平均失水速率也高于常绿阔叶树种和常绿针叶树种(表 2)。

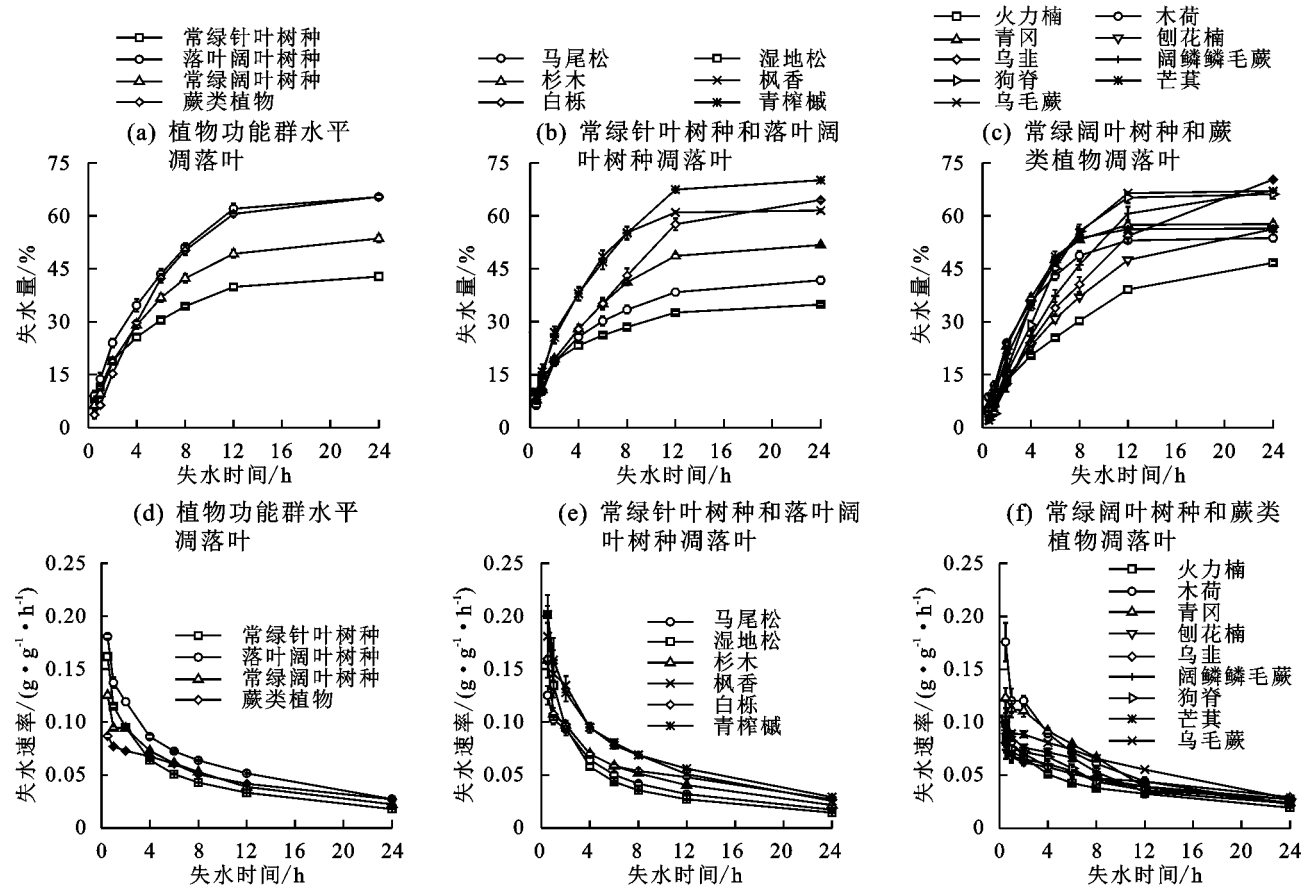


图 2 植物凋落叶的失水量和失水速率动态变化特征

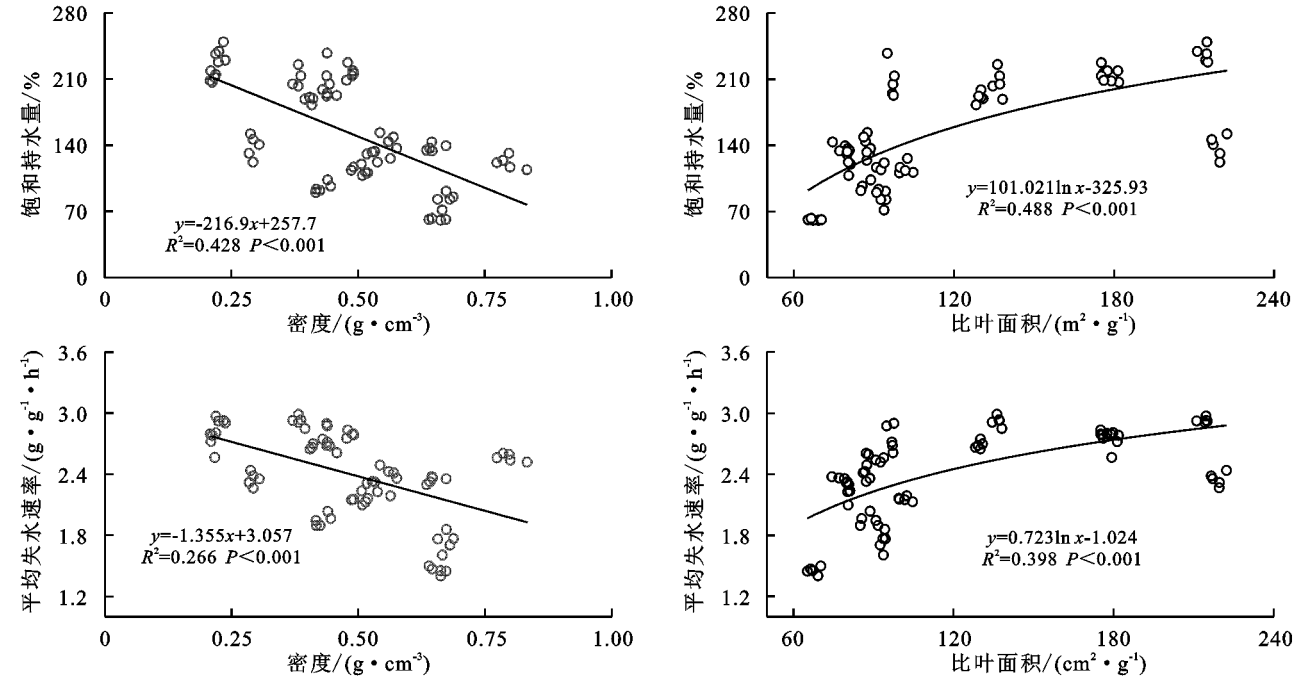


图 3 凋落叶饱和持水量和平均失水速率与其初始属性的相关关系

3 讨论

在森林生态系统中,凋落物的持水特征是衡量其缓解地表径流和涵养水源能力的重要指标^[4,13,15]。其中,凋落物吸水过程中的饱和持水量和吸水速率分别反映了凋落物的最大截留量和在一定时间内的蓄水能力^[4,13]。在本研究中,凋落叶的最大吸水速率发生在浸泡的前期,这与以往的许多研究^[4,13-14]结论基本一致。在浸泡初期,处于烘干状态的凋落叶表面与水之间的水势差较大,凋落叶吸水速率最高,但随着浸泡时间的推移,凋落叶的含水率在逐步升高,凋落叶与水体之间的水势差逐渐减少,吸水速率不断下降^[14,16],在 24 h 时逐渐趋近于 0,即凋落叶吸水量达到饱和状态。考虑到亚热带地区降水强度较大而且较为集中,这些研究结果表明,森林凋落物在短时间内可以有效地防止雨水滴溅以及减缓地表径流的形成,在森林生态系统的水源涵养功能和水土流失防控等方面具有重要的意义。

在本研究所选取的 15 个物种中,蕨类植物凋落叶的饱和持水量最高,落叶阔叶树种凋落叶次之,而常绿阔叶树种以及常绿针叶树种凋落叶最低。已有研究^[4,13,17]也发现,阔叶树种凋落物饱和持水量均高于针叶树种。然而,刘效东等^[2]研究发现,南亚热带针叶林凋落物由于其较大的比叶面积,吸持水能力高于常绿阔叶林凋落物。由于凋落物初始物理和化学特性被认为是影响凋落物持水特征的重要因素^[2,4,18],这些不一致的研究结论可能是由于物种间凋落物特性的差异所引起的。一般而言,凋落物比叶面积越大,密度越低,单位重量凋落物与水接触的面积越大,吸收水分的能力可能会越强^[2]。相对于乔木层树种,蕨类植物为适应林下的弱光环境,通常会节约碳成本和提高碳利用效率,形成具有较高比叶面积和较低密度的叶片^[9]。本研究也发现,在 4 个植物功能群中,蕨类植物凋落叶的比叶面积最大,密度最低,而常绿针叶树种凋落叶的比叶面积最小,密度最大(表 2)。而且,与蕨类植物和阔叶树种相比,针叶树种凋落物富含油脂等物质,使得凋落物的亲水性降低,不易吸收和存储水分^[4]。因此,蕨类植物凋落叶饱和持水量显著高于乔木树种,而阔叶树种凋落物则高于针叶树种。这些研究结果表明,由于凋落物良好的持水能力,在赣江中游水源涵养林建设中应优先选择落叶阔叶树种,并维持一定数量的林下蕨类植物。

凋落物的失水量和失水速率体现了凋落物的保水能力。在本研究中,凋落物的失水动态与已有研究^[4,13]结论基本一致,即失水初期,凋落物含水率高,失水速率快,随后随着凋落物含水率的降低,失水速率逐渐降低并趋于平稳。而且,蕨类植物和落叶阔叶树种凋落叶的平均失水速率均高于常绿针叶树种和

常绿阔叶树种。对于植物凋落物而言,失水过程与吸水过程是 2 个相对应的过程,因此持水量越高的凋落物与大气间的水势差越大,更易于失水^[19]。相对于常绿针叶树种和常绿阔叶树种,蕨类植物和落叶阔叶树种叶片密度小,比叶面积大,因而与大气的接触面积更多,水分更易于蒸发。此外,相对于被子植物,蕨类植物属于孢子植物,叶片兼备生产孢子繁殖体的功能,因而其叶片背面通常具有孕育孢子的囊状空腔^[20],这类特殊的叶片结构也可能导致蕨类植物凋落叶的失水速率较高。

在森林生态系统中,凋落物的初始特性被认为是影响其持水和失水动态特征的主要因素^[2,4,18]。本研究发现,凋落叶的饱和持水量和平均失水速率与密度呈显著负相关关系,与比叶面积呈显著正相关关系。一般说来,凋落叶密度是反映其内部结构的重要指标,密度较小的叶片通常疏松多孔,吸收或释放水分的速率越快^[21]。比叶面积为单位重量凋落叶所能展开的面积,越大的比叶面积就意味着凋落物表面与水分子的接触机会越多,吸附水的能力越强^[2]。类似地,凋落物比叶面积越大,单位重量凋落物与空气的接触面越大,失水速率越快。因此,蕨类植物凋落叶比乔木树种普遍具有更低的密度和更高的比叶面积,其饱和持水量和吸水速率也越大。这些研究结果表明,凋落叶密度与比叶面积等物理特性的差异是导致乔木与蕨类植物之间凋落叶持水特征格局形成的重要因素。

在森林生态系统中,乔木层树种和林下植被的凋落物通常混合在一起,这可能会改变凋落物的微环境,影响凋落物的吸水和失水过程。吴迪等^[22]在贵州百里杜鹃保护区的研究发现,马缨杜鹃(*Rhododendron delavayi*)花叶混合凋落物的饱和持水量随着花比例的增加而逐渐升高。同时,乔木层树种和林下植被凋落物在混合分解过程中通常会产生非加和效应(non-additive effect)^[18],这也会改变凋落物的分解进程和分解阶段,进而影响凋落物的持水能力。而且,森林凋落物涵养水源的能力不仅取决于凋落物自身的持水性能,还与凋落物的现存量密切相关^[4,16,23]。本研究仅仅调查了 15 个物种凋落叶的持水性能,并未结合林分内凋落叶的产量和物种组成进行综合分析森林凋落物的拦蓄能力。因此,在今后的研究中,应重点关注树木和林下植被混合凋落物的持水特征,并从林分尺度上揭示森林凋落物的持水能力,这对于准确评估森林的水源涵养功能具有极为重要的科学意义。

在本研究中,蕨类植物凋落叶由于其较低的密度和较高的比叶面积,持水能力显著高于落叶阔叶树种、常绿阔叶树种以及常绿针叶树种。在赣江中游水源涵养林中,蕨类植物是林下植被的重要组成部分,

但由于其生物量低,在以往的生态水文功能研究中通常被忽略。本研究结果表明,蕨类植物凋落物可能在水源涵养功能方面发挥着与其生物量不成比例的贡献,因此在赣江中游水源涵养林生态服务功能评估和林业管理措施制定过程中应得到充分的重视。

4 结论

(1)植物凋落叶吸水速率在前 0.5 h 最高,随后逐渐下降,到 12 h 后趋于平稳,凋落叶持水量在 24 h 达到饱和状态;同样地,植物凋落叶失水速率在前 2 h 最大,随后缓慢下降并逐渐趋于平稳。

(2)植物物种和功能群间的饱和持水量存在较大的差异。物种水平上,湿地松凋落叶饱和持水量最低(61.3%),而乌韭凋落叶饱和持水量最高(236.7%);植物功能群水平上,蕨类植物凋落叶饱和持水量最高(202.5%),落叶阔叶树种(173.0%)和常绿阔叶树种(124.6%)居中,而常绿针叶树种凋落叶饱和持水量最低(86.5%)。

(3)植物凋落物的初始密度和比叶面积是影响凋落物持水和失水特征的主要因素。凋落叶的饱和持水量和平均失水速率与其密度呈显著负的线性相关关系(R^2 分别为 0.428 和 0.266),而与比叶面积则呈显著正的对数函数相关关系(R^2 分别为 0.488 和 0.398)。

(4)在赣江中游水源涵养林中,蕨类植物由于其凋落物具有较高的持水能力,在水源涵养功能方面发挥着与其生物量不成比例的贡献,因此,在今后的生态服务功能评估和林业管理措施制定过程中应得到充分的重视。

参考文献:

- [1] 孟庆权,葛露露,杨馨逸,等.滨海沙地不同人工林凋落物现存量及其持水特性[J].水土保持学报,2019,33(3):146-152.
- [2] 刘效东,乔玉娜,周国逸,等.鼎湖山 3 种不同演替阶段森林凋落物的持水特性[J].林业科学,2013,49(9):8-15.
- [3] 何琴飞,郑威,彭玉华,等.珠江流域中游主要森林类型凋落物持水特性[J].水土保持研究,2017,24(1):128-134.
- [4] 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.
- [5] 王忠禹,刘国彬,王兵,等.黄土丘陵区典型植物枯落物凋落动态及其持水性[J].生态学报,2019,39(7):2416-2425.
- [6] 刘小娥,苏世平.兰州市南北两山 5 种典型人工林凋落物的水文功能[J].应用生态学报,2020,31(8):2574-2582.
- [7] Wang B, Wu F Z, Xiao S, et al. Effects of succession gaps on the understory water-holding capacity in an over-mature alpine forest at the upper reaches of the Yangtze River [J]. Hydrological Processes, 2016, 30(5): 692-703.
- [8] Gordon D A R, Coenders-Gerrits M, Sellers B A, et al. Rainfall interception and redistribution by a common North American understory and pasture forb, *Eupatorium capillifolium* (Lam. dogfennel) [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2020, 24(9): 1-13.
- [9] 宋娟,李荣华,朱师丹,等.鼎湖山季风常绿阔叶林不同生境蕨类植物的叶片功能性状研究[J].热带亚热带植物学报,2013,21(6):489-495.
- [10] 涂安国,杨洁,李英,等.赣江流域水土保持生态建设减水减沙效益评价[J].水土保持通报,2013,33(5):148-151.
- [11] 马泽清,刘琪璟,徐雯佳,等.江西千烟洲人工针叶林下狗脊蕨群落生物量[J].植物生态学报,2008,32(1):88-94.
- [12] 温林生,邓文平,彭云,等.江西退化红壤区 3 种森林恢复模式的枯落物和土壤表层水文功能研究[J].水土保持学报,2020,34(4):158-163.
- [13] 郑文辉,林开敏,徐昇,等.7 种不同树种凋落叶持水性能的比较研究[J].水土保持学报,2014,28(1):88-91.
- [14] 吴晓光,刘龙,张宏飞,等.砒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.
- [15] 郑晶晶,蔡锰柯,林宇,等.6 种不同沿海防护混交林凋落叶持水性能比较[J].水土保持通报,2015,35(5):111-116.
- [16] 张建利,王加国,李苇洁,等.贵州百里杜鹃自然保护区杜鹃林枯落物储量及持水功能[J].水土保持学报,2018,32(3):167-173.
- [17] 蒲嘉霖,刘亮.亚热带森林凋落物分解特征及水文效应[J].水土保持研究,2019,26(6):165-170.
- [18] Makkonen M, Berg M P, van Logtestijn R S P, et al. Do physical plant litter traits explain non-additivity in litter mixtures? A test of the improved microenvironmental conditions theory [J]. Oikos, 2013, 122(7): 987-997.
- [19] 周丽丽,蔡丽平,马祥庆,等.不同发育阶段杉木人工林凋落物的生态水文功能[J].水土保持学报,2012,26(5):249-253.
- [20] 邢怡,党安志,刘保东.黑龙江产十种蕨类植物孢子囊和叶表皮的扫描电镜观察[J].植物研究,2004,24(4):413-416.
- [21] 蒋雨芮,谭波,杨万勤,等.亚高山林区河岸带康定柳木质残体持水能力随径级的变化特征[J].生态学杂志,2020,39(2):444-450.
- [22] 吴迪,韩振诚,李苇洁,等.马缨杜鹃不同花叶比例凋落物的分解程度和持水性能研究[J].水土保持学报,2020,34(5):186-191.
- [23] 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.