

亚热带地区 3 种喀斯特林分凋落物组成对其持水性能的影响

唐伟^{1,2}, 侯满福^{1,2}, 刘雨婷^{1,2}, 贺露炎^{1,2}, 吴兴澳^{1,2}

(1.广西师范大学 环境与资源学院, 广西 桂林 541004; 2.珍稀濒危动植物生态与环境保护教育部重点实验室/广西漓江流域景观资源保育与可持续利用重点实验室 广西师范大学, 广西 桂林 541004)

摘要: [目的] 揭示亚热带不同喀斯特林分凋落物组成对其持水性能的影响, 为丰富森林生态水文研究和加深凋落物层与水文功能关系的认识提供科学依据。[方法] 收集亚热带喀斯特区的青冈林、青冈+光蜡树林、化香树+密花树林 3 种代表性林分的凋落物层, 将其分为半分解、未分解枝、未分解叶和其他未分解凋落物 4 种成分, 选择每种林分前 3 种主要成分分别按 0%, 20%, 40%, 60%, 80% 和 100% 比例混合成 21 组质量相同、组成比例不同的处理(3 种林分共 63 组处理)。采用浸水法研究其持水性能。[结果] ①3 种林分类型不同组成凋落物的持水率和吸水速率分别与浸水时间呈对数函数关系($R^2 \geq 0.718$)和幂函数关系($R^2 \geq 0.998$); 在各浸水时段的持水率和吸水速率以化香树+密花树林纯未分解叶凋落物最大, 青冈+光蜡树林纯未分解枝凋落物最小; ②凋落物的持水率和吸水速率均与未分解叶比例呈极显著正相关关系($p < 0.01$), 与未分解枝的比例呈极显著负相关关系($p < 0.01$), 与半分解凋落物的比例无明显关系; ③3 种林分类型凋落物层的总蓄积量及其最大持水量无显著差异, 但青冈林凋落物层的最大吸水速率显著高于化香树+密花树林。[结论] 凋落物组成显著影响其持水性能。在凋落物生态水文效应研究中应综合考虑凋落物蓄积量及其组成的影响。

关键词: 凋落物组成; 持水性能; 喀斯特森林; 不同林分; 亚热带

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)06-0137-09

中图分类号: S714.7, S715

文献参数: 唐伟, 侯满福, 刘雨婷, 等. 亚热带地区 3 种喀斯特林分凋落物组成对其持水性能的影响[J]. 水土保持通报, 2022, 42(6): 137-145. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.06.018; Tang Wei, Hou Manfu, Liu Yuting, et al. Effect of litter composition on its water holding capacity for three typical karst forest types in subtropical region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(6): 137-145.

Effect of Litter Composition on Its Water Holding Capacity for Three Typical Karst Forest Types in Subtropical Region

Tang Wei^{1,2}, Hou Manfu^{1,2}, Liu Yuting^{1,2}, He Luyan^{1,2}, Wu Xingao^{1,2}

(1. College of Environment and Resources, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China; 2. Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection Ministry of Education/ Guangxi Key Laboratory of Landscape Resources Conservation and Sustainable Utilization in Lijiang River Basin, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: [Objective] The effect of litter composition on its water holding capacity for three different karst forest types in subtropical region was determined in order to provide a scientific basis for enriching forest ecohydrological research and deepening the understanding of the relationship between litter and hydrological functions. [Methods] Litters were collected from three representative karst forest types, i.e., *Cyclobalanopsis glauca* forest, *Cyclobalanopsis glauca* + *Fraxinus griffithii* forest, and *Platycarya strobilacea* + *Myrsine seguinii* forest in subtropical region. The litters were sorted into four components: semi-decomposed litter, undecomposed branches, undecomposed leaves, and undecomposed other litter forms. The first three main litter components of each forest type were mixed at the ratios of 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100%

收稿日期: 2021-12-06

修回日期: 2022-04-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“中国石灰岩青冈林的分类”(31960233); 国家科技基础性工作专项(2015FY210200)

第一作者: 唐伟(1996—), 男(汉族), 湖南省耒阳市人, 硕士研究生, 研究方向为喀斯特资源环境。Email: ttangweiw@126.com。

通讯作者: 侯满福(1976—), 男(汉族), 广西壮族自治区灵川县人, 博士, 副教授, 主要从事喀斯特生态学研究。Email: houmanfu@163.com。

with the same total weight, resulting in 21 groups for each forest type. The water holding capacities of the 63 litter groups were compared based on laboratory soaking experiments. [Results] ① The relationships of the water holding rate and the water absorption rate with soaking time were determined by logarithmic function ($R^2 \geq 0.718$) and power function ($R^2 \geq 0.998$). The highest value was observed in the group of undecomposed leaf litter of *P. strobilacea* + *M. seguinii* forest, while the lowest value was observed in the group of undecomposed branch litter of *C. glauca* + *F. griffithii* forest. ② The water holding rate and water absorption rate of litters had significant positive correlations with the proportion of undecomposed leaves ($p < 0.01$), significant negative correlations with the proportion of undecomposed branches ($p < 0.01$), and no significant relationship with the proportion of half-decomposed litters. ③ No significant differences in the total accumulation of litters and their maximum water holding capacity were found among the three forest types, whereas the maximum water absorption rate of litter was significantly higher in *C. glauca* forest than in *P. strobilacea* + *M. seguinii* forest. [Conclusion] The water holding capacity of litter is significantly affected by its composition, and this factor should be taken into account in studies of the hydrological effects of litters.

Keywords: litter composition; water holding capacity; karst forest; different stands; subtropical region

森林具有改善水质、保持水土、涵养水源的功能,是陆地生态系统服务的重要组成部分^[1]。凋落物层是森林生态系统实现涵养水源,保持水土功能的核心,它通过截留降水,改变土壤物理性质,防止雨滴击溅侵蚀、减少土壤的蒸发等实现对降水的调蓄^[2-3],对全球变化引发的极端降水具有缓冲作用。中国亚热带喀斯特区面积广泛,是珠江、长江上游的生态脆弱区,研究其森林的生态水文功能对下游生态安全具有重要意义。很多研究者通过浸泡法^[2-4]和人工模拟降水^[5-6]研究凋落物的持水性能,揭示了不同类型^[7]、不同林龄^[8]、不同林分密度^[9]和不同海拔^[10]林分凋落物层的持水性能。对于凋落物层的持水性能,目前认为阔叶林普遍高于针叶林、成熟林优于过熟林、中龄林和幼龄林、高林分密度林强于过高和过低林分密度林。然而,凋落物水文生态功能的变化本质上由凋落物的质和量决定,其中凋落量与森林类型密切相关^[11],凋落物的质则会受物种组成和凋落物组成的影响,且会随时间、群落类型而变化^[12]。但绝大多数已有研究仅关注凋落量的影响,只有少量研究对凋落物组成的影响进行了一定的探讨^[13-14],对凋落物组成如何影响其水文功能的了解十分缺乏。为此,本研究选择亚热带地区 3 种喀斯特代表性林分类型,通过对凋落物层的分类并设置不同凋落物类型组成比例的分组试验,以验证凋落物组成对其持水性能的影响规律,为丰富森林生态水文研究和加深凋落物层与水文功能关系的认识提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于广西壮族自治区桂林市郊,属典型的

喀斯特峰丛洼地和峰林平原地貌。该区属亚热带湿润季风气候,多年平均气温 17.8~19.1 °C,多年平均降雨量 1 814~1 941 mm,雨季主要集中在 4—7 月。该区出露基岩主要为纯质石灰岩,岩溶发育强烈,土壤主要为棕色石灰土。该区植被以灌丛为主,局部区域分布森林,主要是以青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、岩樟(*Cinnamomum saxatile*)、密花树(*Myrsine seguinii*)等常绿树种及光蜡树(*Fraxinus griffithii*)、化香树(*Platycarya strobilacea*)、黄连木(*Pistacia chinensis*)、光皮栎木(*Cornus wilsoniana*)、圆叶乌桕(*Triadica rotundifolia*)等落叶树种组成的混交林。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置样品采集 选择研究区的青冈林、青冈+光蜡树林、化香树+密花树林 3 种代表性的林分,分别在林内设置 20 m×20 m 的调查样方(3 个重复),开展森林群落调查^[15]。各样地概况详见表 1。在凋落高峰刚过的初冬期(2019 年 11 月初)于各林分内随机布置 7 个 0.5 m×0.5 m 的小样方,将地表凋落物按未分解层和半分解层分别全部收集带回实验室,并进一步将未分解层凋落物分为枝、叶和其他,85 °C 烘干至恒重,称量干重并计算单位面积凋落物蓄积量。

1.2.2 试验设计 将每种林分类型的半分解、未分解枝和未分解叶 3 种凋落物成分(其他成分量过少,未纳入分组试验)按比例混合成总重 40 g 的处理组,每种林分类型 21 个分组进行浸水试验。表 2 为浸水试验各林分类型凋落物浸水试验的分组及其凋落物成分组成结果。

表 1 试验样地基本情况

林分类型	地理坐标	海拔/m	坡度	郁闭度	平均树高/m	乔木重要值(常绿:落叶)
CG	110°15'19"E, 25°19'08"N	215	15°	0.85	11.3	89.93:10.07
CG+FG	110°20'07"E, 25°01'50"N	200	28°	0.75	13.1	43.41:56.59
PS+MS	110°22'57"E, 25°13'16"N	172	30°	0.55	6.3	22.72:77.28

注:CG 为青冈林; CG+FG 为青冈+光蜡树林; PS+MS 为化香树+密花树林。下同。

表 2 各林分类型凋落物浸水试验的分组及其凋落物成分组成结果

凋落物组成	各组成成分的比例																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
半分解	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	8	10
未分解枝	10	8	6	4	2	0	8	6	4	2	0	6	4	2	0	4	2	0	2	0	0
未分解叶	0	2	4	6	8	10	0	2	4	6	8	0	2	4	6	0	2	4	0	2	0

注:表中数字代表份数,每份 4 g,总量为 40 g。

1.2.3 凋落物持水率与吸水速率的测定 采用室内浸水法^[8]测定凋落物的持水率及吸水速率。将每组凋落物分别装入规格为 25 cm×25 cm、孔径为 1 mm 的尼龙网袋中放入盛有清水的容器中浸泡,分别在浸水 1/12,1/4,1/2,1,2,4,6,8,10,12,16 和 24 h 时捞出平置沥干,至凋落物不滴水时迅速称重(精确到 0.01 g)。凋落物的持水量、持水率和吸水速率计算公式为:

$$Q = (W_t - W_0) / W_0 \quad (1)$$

$$C = Q \cdot W \quad (2)$$

$$V = Q / t \quad (3)$$

式中: W_t 为吸水湿重(g); W_0 为干重(g); Q 为持水率(g/g); C 为持水量($t \cdot \text{hm}^{-2}$); W 为凋落物蓄积量($t \cdot \text{hm}^{-2}$); V 为吸水速率 $[\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})]$; t 为浸水时间(h); 当 t 为 24:00 时,样本持水率及持水量达到饱和^[8]。

根据凋落物分组试验中单一组分的最大持水率,结合混合分组的凋落物组成情况,拟合计算其最大持水率,并与实测的最大持水率进行回归分析。具体计算公式为:

$$Q_n = (Q_{24\text{半}} \times W_{\text{半}} + Q_{24\text{枝}} \times W_{\text{枝}} + Q_{24\text{叶}} \times W_{\text{叶}}) / W_0 \quad (4)$$

式中: Q_n 为拟合的最大持水率; $Q_{24\text{半}}$ 为半分解最大持水率; $Q_{24\text{枝}}$ 为枝最大持水率; $Q_{24\text{叶}}$ 为叶最大持水率。

混合分组的实际与拟合最大持水率关系为:

青冈林:

$$Y = 1.0484X - 0.0999, \quad (R^2 = 0.701)$$

青冈+光蜡树林:

$$Y = 1.0460X - 0.0624, \quad (R^2 = 0.681)$$

化香树+密花树林:

$$Y = 0.9286X - 0.2746, \quad (R^2 = 0.778)$$

式中: X 为拟合最大持水率; Y 为实际最大持水率。

再根据公式(2)–(3)计算各林分类型凋落物层

最大持水量(未分解的其他组分以枝和叶的平均值计)和最大吸水速率(浸水 1/12 h)。

1.2.4 数据分析 运用 SPSS 19.0 进行单因素方差分析,对凋落物的持水率和吸水速率与凋落物各组分的相关关系采用 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同林分类型凋落物层组成特征

3 种林分类型的凋落物层总蓄积量在 8.49~9.37 t/hm^2 间,大小顺序为:青冈林>青冈+光蜡树林>化香树+密花树林,但差异不显著($p > 0.05$)。凋落物蓄积量中未分解层均大于半分解层,前者占比在 53.75%~58.99%之间,其中又以未分解层枝占比较高(26.04%~33.23%),其次为未分解层叶(16.10%~31.61%),其他凋落物所占比例最小($< 5\%$)。不同林分类型的凋落物层总蓄积量、半分解层、未分解层枝及其他凋落物量均无显著差异($p > 0.05$),仅青冈+光蜡树林未分解层叶显著低于化香树+密花树林($p < 0.05$),同时也较明显低于青冈林(为后者的约 64%),但由于组内变异较大而使其均值的差异未达显著水平(表 3)。

2.2 不同分组凋落物持水过程

3 种林分类型不同分组凋落物的持水率和吸水速率随浸水时间的增加均表现出相似的变化规律。其中持水率与浸水时间呈显著对数函数关系($R^2 \geq 0.718$),吸水速率对浸水时间的响应可由幂函数描述($R^2 \geq 0.998$)。凋落物在烘干状态下浸水初期(2 h 内)持水率迅速增加(图 1—2),2~12 h 持水率缓慢增加,12~24 h 持水率的变化趋于平缓逐渐饱和;吸水速率在浸水的 0~1/12 h 最快,1/12~4 h 急剧下降,10~24 h 维持低位并趋于稳定(图 3—4)。

在各浸水时段不同林分类型 0:10:0(纯枝)的持水率普遍最低(仅青冈林稍高于 2:8:0)且明显低

于其他分组,0:0:10(纯叶)的持水率普遍最高但不显著(图 2)。此外化香树+密花树林的 2:8:0 和青冈林的 0:8:2 的持水率与纯枝分组相近,其他分组间多彼此交叉,处于连续变化当中。化香树+密花树林的 0:0:10 持水率最大,青冈+光蜡树林的 0:10:0 最小,前者在各浸水时段的持水率比后者多 1.07~1.22(g/g)。不同分组凋落物达到最大持水率所需时间存在差异,青冈林的 2:6:2,青冈+光蜡树林的 6:4:0,化香树+密花树林的 2:4:4 等需时最短(16 h)。总的来看,从 1/12 h 到 24 h,不同分组

凋落物的持水率增长了 0.44~0.89(g/g),以青冈+光蜡树林的 0:2:8 的增长值最大,是其他分组的 1.04~2.04 倍。

由图 3 可以看出,不同分组凋落物间吸水速率相差较大,但整个浸水时段仍以化香树+密花树林的 0:0:10 的吸水速率最快,青冈+光蜡树林的 0:10:0 最慢。在浸水初期(1 h 内),3 种林分类型的 4:0:6 吸水速率在各自混合组成分组中最高。不同分组凋落物持水率和吸水速率与浸水时间的关系详见表 4 (以化香树+密花树林为例)。

表 3 不同林分类型凋落物蓄积量及其构成

t/hm²

林分类型		CG	CG+FG	PS+MS
半分解层	蓄积量	3.85±1.06 ^a	4.19±0.89 ^a	3.51±0.88 ^a
	比例/%	41.01	46.25	41.29
未分解层枝	蓄积量	3.00±0.78 ^a	3.01±0.54 ^a	2.21±0.24 ^a
	比例/%	32.03	33.23	26.04
未分解层叶	蓄积量	2.29±0.42 ^{ab}	1.46±0.09 ^b	2.68±0.35 ^a
	比例/%	24.43	16.10	31.61
未分解层其他	蓄积量	0.23±0.08 ^a	0.40±0.15 ^a	0.09±0.04 ^a
	比例/%	2.44	4.43	1.07
总蓄积量		9.37±1.59 ^a	9.06±1.07 ^a	8.49±1.20 ^a

注:同一行数据后不同小写字母表示不同林分类型凋落物蓄积量差异显著($p < 0.05, n = 7$)。下同。

表 4 化香树+密花树的不同分组凋落物持水率和吸水速率与浸水时间的关系

凋落物分组	持水率与浸水时间的关系		吸水速率与浸水时间的关系	
	对数函数关系式	R ²	幂函数关系式	R ²
0:10:0	$Q=0.109\ 6\ln t+0.514\ 0$	0.926\ 7	$V=0.484\ 8t^{-0.803\ 0}$	0.998\ 9
0:8:2	$Q=0.117\ 1\ln t+0.944\ 3$	0.966\ 9	$V=0.923\ 6t^{-0.881\ 5}$	0.999\ 7
0:6:4	$Q=0.119\ 1\ln t+1.075\ 0$	0.945\ 1	$V=1.058\ 4t^{-0.895\ 6}$	0.999\ 7
0:4:6	$Q=0.131\ 5\ln t+1.204\ 3$	0.960\ 2	$V=1.184\ 5t^{-0.895\ 8}$	0.999\ 7
0:2:8	$Q=0.139\ 5\ln t+1.453\ 8$	0.963\ 2	$V=1.435\ 5t^{-0.908\ 1}$	0.999\ 8
0:0:10	$Q=0.100\ 6\ln t+1.645\ 0$	0.964\ 5	$V=1.634\ 6t^{-0.939\ 7}$	0.999\ 8
2:8:0	$Q=0.112\ 1\ln t+0.597\ 7$	0.960\ 3	$V=0.567\ 6t^{-0.821\ 1}$	0.998\ 8
2:6:2	$Q=0.118\ 3\ln t+0.936\ 2$	0.943\ 9	$V=0.914\ 5t^{-0.879\ 1}$	0.999\ 1
2:4:4	$Q=0.132\ 0\ln t+1.138\ 0$	0.985\ 9	$V=1.112\ 6t^{-0.886\ 2}$	0.999\ 5
2:2:6	$Q=0.121\ 8\ln t+1.318\ 6$	0.948\ 7	$V=1.300\ 7t^{-0.910\ 1}$	0.999\ 5
2:0:8	$Q=0.134\ 8\ln t+1.491\ 5$	0.953\ 5	$V=1.475\ 4t^{-0.913\ 7}$	0.999\ 8
4:6:0	$Q=0.1197\ln t+0.980\ 6$	0.954\ 3	$V=0.959\ 1t^{-0.882\ 8}$	0.999\ 4
4:4:2	$Q=0.116\ 7\ln t+1.172\ 8$	0.951\ 3	$V=1.157\ 2t^{-0.905\ 2}$	0.999\ 7
4:2:4	$Q=0.124\ 9\ln t+1.281\ 2$	0.953\ 6	$V=1.262\ 9t^{-0.905\ 8}$	0.999\ 6
4:0:6	$Q=0.106\ 1\ln t+1.495\ 7$	0.952\ 0	$V=1.485\ 4t^{-0.931\ 7}$	0.999\ 8
6:4:0	$Q=0.117\ 9\ln t+1.183\ 6$	0.932\ 7	$V=1.167\ 0t^{-0.904\ 6}$	0.999\ 5
6:2:2	$Q=0.118\ 1\ln t+1.311\ 6$	0.910\ 6	$V=1.297\ 9t^{-0.914\ 6}$	0.999\ 4
6:0:4	$Q=0.122\ 1\ln t+1.403\ 5$	0.964\ 2	$V=1.388\ 6t^{-0.916\ 3}$	0.999\ 8
8:2:0	$Q=0.125\ 8\ln t+1.265\ 1$	0.956\ 9	$V=1.246\ 3t^{-0.903\ 9}$	0.999\ 6
8:0:2	$Q=0.133\ 6\ln t+1.422\ 5$	0.946\ 7	$V=1.403\ 2t^{-0.908\ 9}$	0.999\ 5
10:0:0	$Q=0.103\ 8\ln t+1.075\ 8$	0.909\ 2	$V=1.060\ 9t^{-0.907\ 2}$	0.999\ 2

注:Q 为凋落物持水率(g/g); V 为凋落物吸水速率(g/(g·h)); t 为浸水时间(h)。

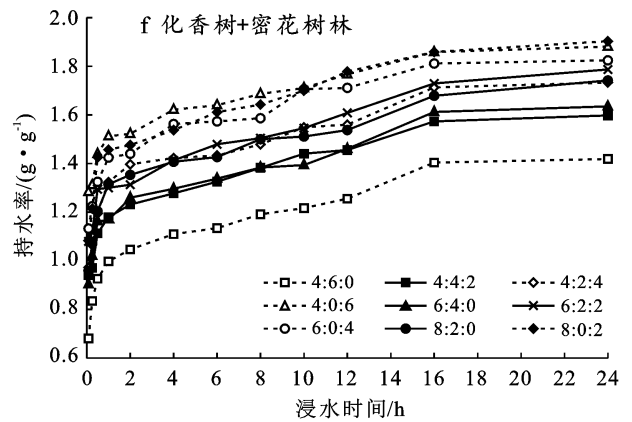
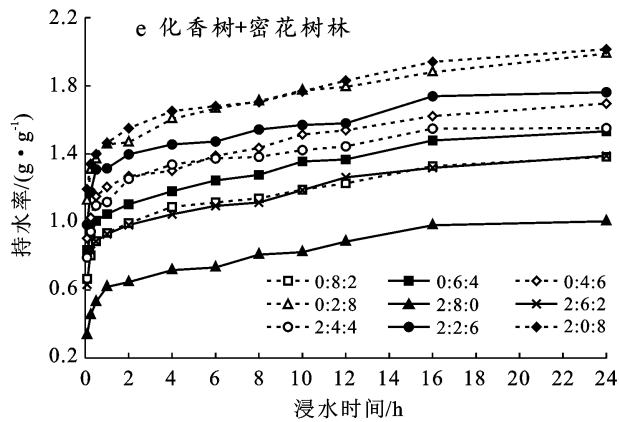
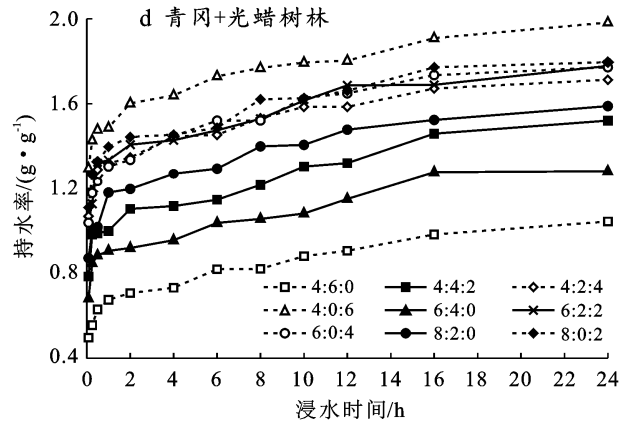
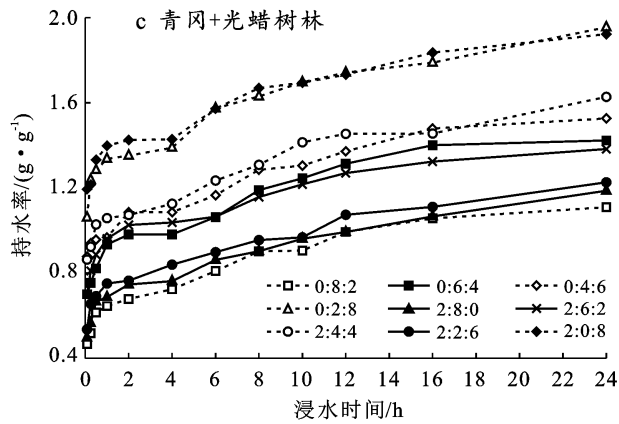
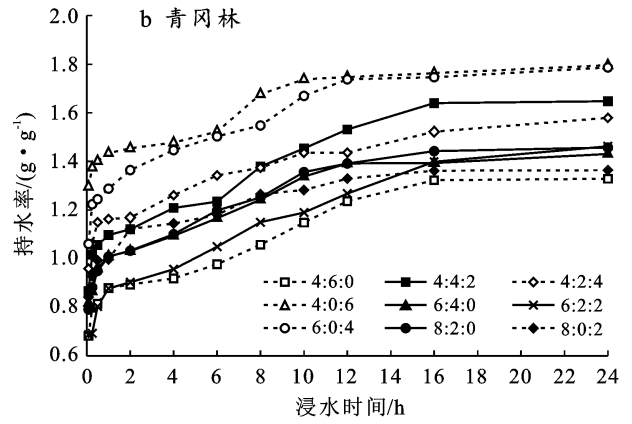
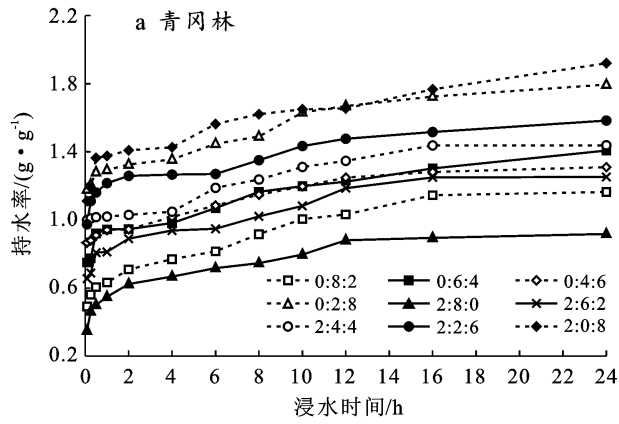


图 1 不同林分类型不同分组凋落物持水率与浸水时间的关系

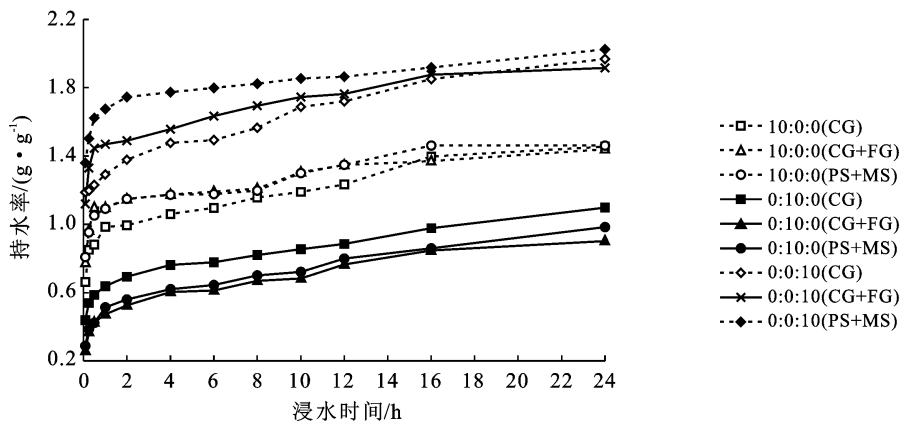


图 2 3 种林分类型单一组分凋落物持水率与浸水时间的关系

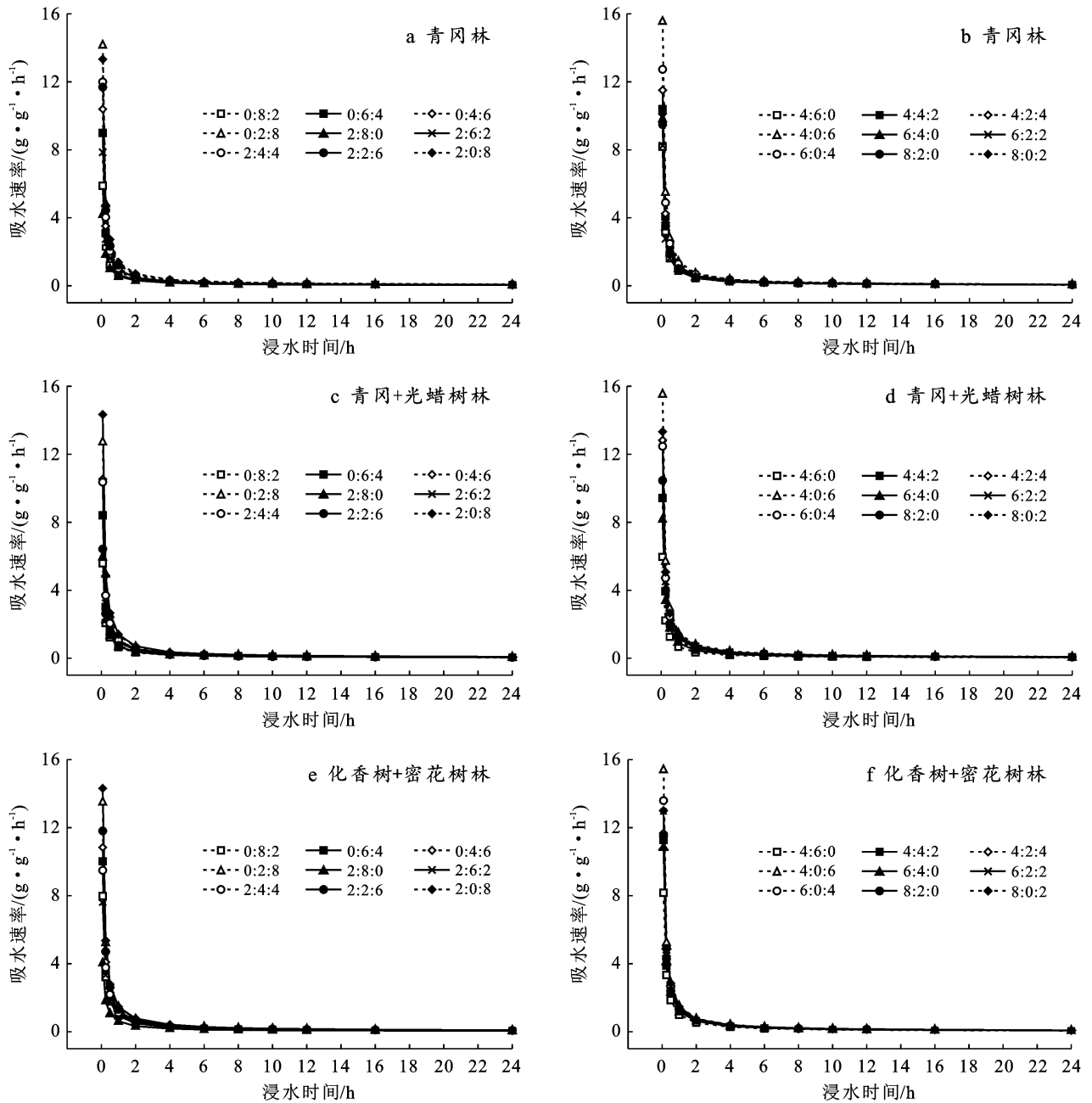


图 3 不同林分类型不同分组凋落物吸水速率与浸水时间的关系

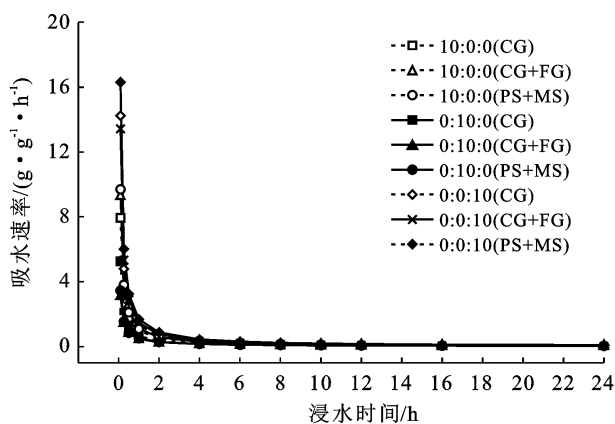


图 4 3 种林分类型单一组分凋落物吸水速率与浸水时间的关系

2.3 凋落物组成与持水率和吸水速率的关系

凋落物的持水率和吸水速率均随未分解叶凋落物量的增加而增加,随未分解枝量的增加而减小(图 1—4)。

Pearson 相关分析表明,在全浸水时段 3 种林分类型不同分组凋落物的持水率和吸水速率均与未分解叶的量呈极显著正相关($n=21, p<0.01$),与未分解枝的量呈极显著负相关($n=21, p<0.01$),与半分解的量无显著关系($n=21, p>0.05$)(表 5,以最大持水率和最大吸水速率为例)。

2.4 不同林分类型凋落物的最大持水量、最大持水率与最大吸水速率

拟合得到的不同混合分组凋落物的最大持水率

总体小于实际最大持水率;当半分解量一定时,随着未分解叶量增加,凋落物最大持水率呈现上升趋势;当

未分解枝量一定时,含同等量的未分解叶凋落物的最大持水率大于含同等量的半分解凋落物(图 5—7)。

表 5 不同林分类型不同分组凋落物最大持水率和最大吸水速率与凋落物各组分的相关系数

项目	CG			CG+FG			PS+MS		
	半分解	未分解枝	未分解叶	半分解	未分解枝	未分解叶	半分解	未分解枝	未分解叶
最大持水率	0.060	-0.801**	0.745**	0.164	-0.826**	0.662**	0.160	-0.869**	0.708**
最大吸水速率	-0.020	-0.771**	0.794**	0.249	-0.851**	0.602**	0.195	-0.890**	0.694**

注: ** 表示在 $p < 0.01$ 水平显著相关。

2.4 不同林分类型凋落物的最大持水量、最大持水率与最大吸水速率

拟合得到的不同混合分组凋落物的最大持水率总体小于实际最大持水率;当半分解量一定时,随着未分解叶量增加,凋落物最大持水率呈现上升趋势;当未分解枝量一定时,含同等量的未分解叶凋落物的最大持水率大于含同等量的半分解凋落物(图 5—7)。

种林分($p < 0.05$),但未分解叶的最大持水量显著高于青冈+光蜡树林的未分解叶($p < 0.05$);青冈林凋落物层的最大持水量和最大吸水速率均最大,且最大吸水速率显著高于化香树+密花树林($p < 0.05$)(表 6)。

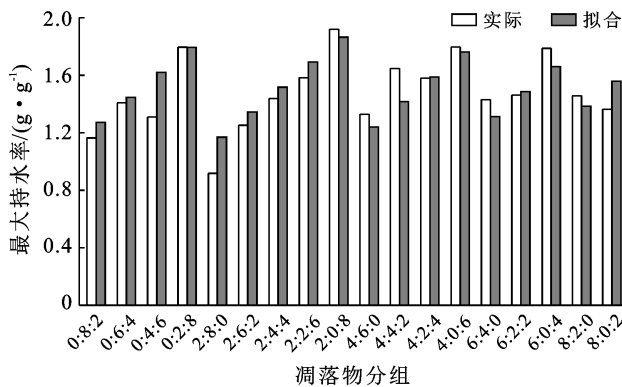


图 5 青冈林拟合的不同分组凋落物最大持水率与实际对比

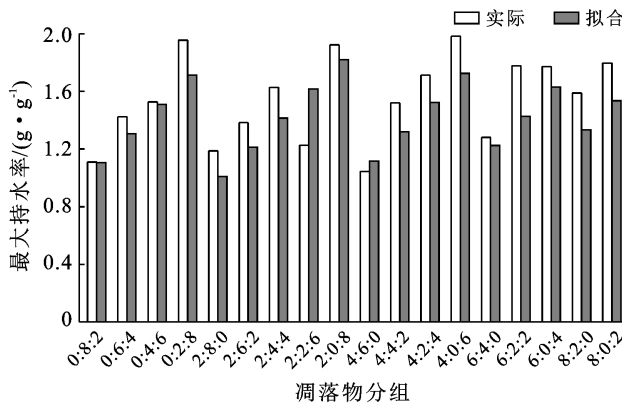


图 6 青冈+光蜡树林拟合的不同分组凋落物最大持水率与实际对比

根据线性方程得到的化香树+密花树林凋落物层最大持水量和最大吸水速率均最小,且其半分解、未分解枝和未分解叶的最大吸水速率显著小于其他 2

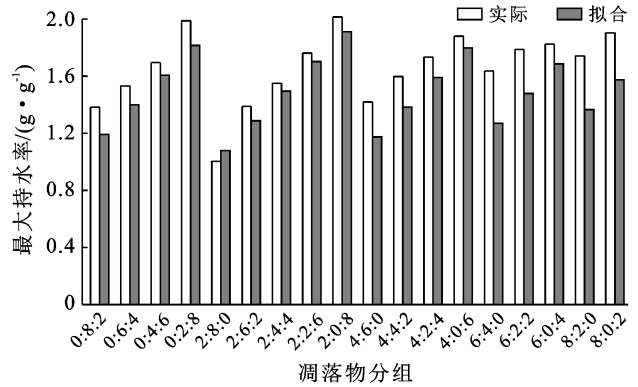


图 7 化香树+密花树林拟合的不同分组凋落物最大持水率与实际对比

3 讨论

3.1 凋落物组成对凋落物持水性能的影响

凋落物的持水率和吸水速率与浸水时间呈对数函数和幂函数关系,即在浸水前 2 h 内凋落物持水率迅速增加,之后趋于平缓,直至饱和。这主要是因为浸水初期凋落物死细胞间或不同凋落物组表面水势差较大,吸水迅速;随着时间的推移,凋落物内外水势差降低,吸水速率放缓^[16]。本研究中不同分组凋落物持水率和吸水速率与浸水时间的关系与前人研究结果一致^[2-3,7-9],表明凋落物组成差异不影响其持水过程函数关系的性质。

本研究显示凋落物的持水率和吸水速率与未分解叶的量呈极显著正相关,与未分解枝的量呈极显著负相关,与半分解层的量无显著关系。这与凋落物表面对水分子的吸附和凋落物内部空隙对水分的储存有关^[17]。未分解叶具有较大的比表面积^[18]和叶片间的结构空隙,有利于水分子的吸附和滞留。相反,未

分解枝的比表面积和可持水的结构空隙要小得多,其比例的增加会降低凋落物持水率和吸水速率。这与刘忠玲等^[13]的研究结果类似。半分解凋落物的比表面积和结构空隙与分解程度有关,持水率和吸水速率

受组成比例及其分解程度的共同影响,从而未表现出相关性。因此,当凋落物层总蓄积量差别不大时,未分解叶和枝的组成比值将可以作为判断其持水性能的有效指标,其值越大,持水性能越好。

表 6 不同林分类型凋落物层最大持水量和最大吸水速率

林分类型	CG	CG+FG	PS+MS	
最大持水量/ (t · hm ⁻²)	半分解	5.87 ± 1.62 ^a	6.31 ± 1.34 ^a	4.77 ± 1.19 ^a
	未分解枝	3.45 ± 0.90 ^a	2.84 ± 0.51 ^a	2.03 ± 0.22 ^a
	未分解叶	4.72 ± 0.87 ^{ab}	2.92 ± 0.18 ^b	5.06 ± 0.65 ^a
	其他	0.30 ± 0.13 ^a	0.49 ± 0.22 ^a	0.11 ± 0.05 ^a
	总和	14.34 ± 2.21 ^a	12.57 ± 1.47 ^a	11.97 ± 1.78 ^a
最大吸水速率/ (g · g ⁻¹ · h ⁻¹)	半分解	9.19 ± 0.002 ^b	10.00 ± 0.003 ^a	8.05 ± 0.013 ^c
	未分解枝	6.09 ± 0.002 ^a	3.36 ± 0.002 ^b	2.91 ± 0.006 ^c
	未分解叶	16.49 ± 0.001 ^a	14.46 ± 0.002 ^b	13.51 ± 0.008 ^c
	其他	6.47 ± 1.480 ^a	6.98 ± 0.103 ^a	7.69 ± 1.828 ^a
	平均	9.56 ± 0.370 ^a	8.70 ± 0.069 ^{ab}	8.04 ± 0.521 ^b

本研究中不同林分类型间大致以纯叶的持水性能最好,纯枝的持水性能最差。这与王金悦等^[2]和刘玉国等^[4]半分解高于未分解的研究结果不同。这可能是因为本研究将持水性能低的未分解枝分离,未分解叶优越的持水性能得以突显。不同的组成凋落物持水性能在林分类型间也存在差异,如青冈林 2 : 8 : 0 持水率最低,青冈林 0 : 8 : 2 和化香树 + 密花树林 2 : 8 : 0 亦显著低于其他组成,达到最大持水率所需的时间 3 种林分类型的凋落物组成也各不相同。

此外,根据单一组分凋落物持水特性拟合得到的不同混合组成凋落物最大持水率总体小于实际最大持水率,两者符合线性函数关系($R^2 \geq 0.681$)。这可能是凋落物各组分的混合会增大凋落物彼此间的空隙,如枝可起到混合态的骨架作用,增加了对水分的吸持。这与王忠禹等^[17]对刺槐凋落物的研究结果类似。根据二者的关系方程,可以得到一种估算凋落物持水性能的较简便方法。

3.2 不同林分类型凋落物水文效应

凋落物的水文效应与凋落物蓄积量成正相关^[8-9],而蓄积量由凋落物的输入动态与凋落物分解动态共同决定。群落的物种组成对凋落量和分解速率具有显著的控制作用^[19],很大程度决定了凋落物蓄积量。林冠层的透光度也会对凋落物分解产生影响,从而影响蓄积量。本研究中 3 种林分凋落物层的总蓄积量及最大持水量均无显著差异,可能与采样时间在凋落高峰刚过时、受分解的影响较弱有关。但 3 种林分类型凋落物层的水文效应的大小顺序与郁闭度有较好的对应关系,一定程度上支持了前人^[20]

的研究结果。此外,凋落物组成特别是未分解枝和未分解叶对持水性能有显著影响,由此使得不同林分类型凋落物层的水文效应也出现差别。本研究中青冈林凋落物层的最大吸水速率显著高于化香树 + 密花树林,主要是青冈林的未分解枝高吸水速率的贡献(表 6)。但是,不同林分类型的物种组成会影响凋落物的性质,从而使凋落物组成对其持水性能的影响会因林分类型而异。因此,应对更广泛的林分类型进行凋落物持水性能对比研究和规律总结,并在评估凋落物层的水文效应时,综合考虑凋落物量及其组成情况^[13]。

3.3 展望

本研究选取了一个时间节点的凋落物层,且部分林分类型果的凋落量较少,未开展不同比例凋落果的持水性能对比研究。但果的性质和分解速率与枝、叶不同,对于果凋落量较大的林分应对其水文效应开展进一步研究。浸水试验的结果只反映了饱和条件下的吸水效应,自然降水的强度、过程复杂多变,开展的原位观测或者模拟试验可以更清晰地揭示凋落物对降水的调控规律。此外,凋落量和降水均存在明显的季节动态,开展不同季节的对比并与降水的季节变化相结合,有助于更好地理解凋落物层的水文效应及其季节动态。

4 结论

(1) 凋落物持水率和吸水速率与未分解叶的量呈极显著正相关,与未分解枝的量呈极显著负相关,二者的比值是反映凋落物层水文效应的有效指标。

(2) 凋落物的持水率与浸水时间呈对数函数关

系,吸水速率与浸水时间呈幂函数关系,不受林分类型及其凋落物组成比例的影响。

(3) 亚热带喀斯特林分凋落物持水性能由蓄积量及其组成共同决定,科学评价凋落物层的水文效应需综合考虑蓄积量及其具体组成的影响。

[参 考 文 献]

- [1] Da Silva W B, Périco E, Dalzochio M S, et al. Are litterfall and litter decomposition processes indicators of forest regeneration in the neotropics? Insights from a case study in the Brazilian Amazon [J]. *Forest Ecology and Management*, 2018,429:189-197.
- [2] 王金悦,邓羽松,林立文,等.南亚热带5种典型人工林凋落物水文效应[J].*水土保持学报*,2020,34(5):169-175.
- [3] 孟庆权,葛露露,杨馨邈,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.
- [4] 刘玉国,刘长成,李国庆,等.贵州喀斯特山地5种森林群落的凋落物储量及水文作用[J].*林业科学*,2011,47(3):82-88.
- [5] 牛勇,刘洪禄,张志强.北京地区典型树种及非生物因子对凋落物水文效应的影响[J].*农业工程学报*,2015,31(8):183-189.
- [6] Neris J, Tejedor M, Rodríguez M, et al. Effect of forest floor characteristics on water repellency, infiltration, runoff and soil loss in Andisols of Tenerife (Canary Islands, Spain) [J]. *Catena*, 2013,108:50-57.
- [7] 涂志华,范志平,孙学凯,等.大伙房水库流域不同植被类型凋落物层和土壤层水文效应[J].*水土保持学报*,2019,33(1):127-133.
- [8] 陈进,徐明,邹晓,等.贵阳市不同林龄马尾松林凋落物储量及持水特性[J].*水土保持研究*,2018,25(6):146-151.
- [9] 塔莉,张丽茹.冀北山地天然次生林枯落物层水文生态功能对不同林分密度的响应[J].*水土保持研究*,2020,27(6):46-51.
- [10] 陈波,孟成生,赵耀新,等.冀北山地不同海拔华北落叶松人工林枯落物和土壤水文效应[J].*水土保持学报*,2012,26(3):216-221.
- [11] Zhang Haiping, Yuan Wenping, Dong Wenjie, et al. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide [J]. *Ecological Complexity*, 2014,20:240-247.
- [12] 刘士玲,郑金萍,范春楠,等.我国森林生态系统凋落物现存量研究进展[J].*世界林业研究*,2017,30(1):66-71.
- [13] 刘忠玲,刘建明,吕跃东.倭肯河上游两种林型凋落物和土壤持水特性[J].*水土保持研究*,2021,28(2):235-241.
- [14] 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.
- [15] 方精云,王襄平,沈泽昊,等.植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J].*生物多样性*,2009,17(6):533-548.
- [16] 刘斌,鲁绍伟,李少宁,等.北京西山6种天然纯林凋落物及土壤水文效应[J].*水土保持学报*,2015,29(4):73-78.
- [17] 王忠禹,刘国彬,王兵,等.黄土丘陵区典型植物凋落物凋落动态及其持水性[J].*生态学报*,2019,39(7):2416-2425.
- [18] 尹婧,邱国玉,何凡,等.半干旱黄土丘陵区人工林叶面积特征[J].*植物生态学报*,2008,32(2):440-447.
- [19] 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.
- [20] 韩友志,邢兆凯,顾宇书,等.浑河上游白桦冷杉等4种林分凋落物储量及持水特性[J].*东北林业大学学报*,2011,39(11):15-18.