

重庆缙云山国家级自然保护区典型林分凋落物持水性研究*

周 焯, 何太蓉, 武雪倩

(重庆师范大学 地理与旅游学院 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331)

摘要:【目的】研究重庆缙云山国家级自然保护区3种典型林分常绿阔叶林、针阔混交林、楠竹林内凋落物的持水性。【方法】将3种凋落物共81袋凋落物先后经过72h的浸水与风干实验,测定各时间点凋落物鲜质量,并计算凋落物持水量(W)、持水率(R)、持水速率(V)、失水量(W')、失水率(R')、失水速率(V')等指标。【结果】凋落物储量为 $(2.46 \pm 0.65) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,最大持水量为 $(5.97 \pm 1.57) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,最大持水率为 $(260.85 \pm 23.23) \%$,最大失水量为 $(4.80 \pm 1.20) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,最大失水率为 $(198.78 \pm 27.28) \%$ 。经过回归分析,3种林分内凋落物的持水量、持水率、失水量与时间的最适模型为 $W = a + b \ln t$ ($R = a + b \ln t$),失水率、持水速率、失水速率与时间的最适模型为 $V = at^b$ ($R = at^b$)。【结论】3种典型林分中楠竹林凋落物具有储量大、持水量大、持水快速等优势,水源涵养能力最好。

关键词:凋落物;持水性;重庆缙云山国家级自然保护区

中图分类号:S718

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2018)02-0064-07

森林凋落物层是森林生态系统的重要组成部分,介于林冠层与土壤根系层之间。此层结构疏松,持水与透水能力优越,不但能减缓林内降水对地表的直接冲击,同时也因增大地表的粗糙度,进而促进土壤水分下渗,减缓并减少地表径流,具有保持水土、涵养水源等重要生态作用^[1-3]。近些年来,国内外的学者对凋落物的生态水文进行了大量研究,并取得了许多有意义的成果。相关研究表明,森林凋落物对降水的截留作用即持水性是它重要的生态水文功能之一。凋落物的持水性通常使用凋落物干物质的持水量、持水率、持水速率、拦蓄量等指标来表示,持水性大小受林分类型、林龄、演替阶段、分解程度等因素影响^[4-7]。最大持水率取决于凋落物的性质,最大持水量则与凋落物的类型、厚度、储量、含水率及分解程度密切相关^[8]。但是,目前国内的研究多是采用室内浸水法测定凋落物的持水率、持水速率,并拟合持水过程,而对凋落物持水失水过程的比较还不多。随着凋落物的生态水文特性日益受到重视,对凋落物持水、失水过程变化规律的定量研究变得尤为重要。本研究于重庆缙云山国家级自然保护区(后简称缙云山保护区)内选取3种典型林分即楠竹(*Phyllostachys pubescens*)林、马尾松(*Pinus massoniana*)与四川山矾(*Symplocos setchuanensis*)的混交林(针阔混交林)、四川山矾纯林(常绿阔叶林),运用野外调查法和室内实验法,研究3种林分凋落物的储量、持水能力、失水能力、拦蓄能力等,通过实验数据进一步了解3种林分凋落物的持水与失水特性的异同,以期对林分建设、水源涵养和森林生态系统管理提供基础数据。

1 研究区概况

研究区位于重庆市北碚区境内的缙云山保护区,东临温塘峡,介于北纬 $29^{\circ}41'08'' \sim 29^{\circ}52'03''$,东经 $106^{\circ}17'43'' \sim 106^{\circ}24'50''$ 之间,海拔200~952 m,占地面积7 600 hm^2 。研究区具有典型的亚热带湿润季风气候特征,多年平均温 13.6°C ,最热月均温 24.3°C ,最冷月均温 3.1°C ,极端最高温 36.2°C ,极端最低温 -4.6°C , 10°C 年积温 $4 272.4^{\circ}\text{C}$;多年平均相对湿度87%;多年平均降水量1 611.8 mm,最高年降水量1 783.8 mm;多年平均蒸发量777.1 mm。研究区的土壤以山地酸性(pH为4.0~4.5)黄壤和水稻土两大类为主,零星分布少量紫色土。缙云山保护区内植物资源丰富,主要植被有常绿阔叶林、暖性针叶林、竹林、常绿阔叶灌丛、亚热带灌草丛和水生植被,主要优势树种有马

* 收稿日期:2017-10-11 修回日期:2018-03-09 网络出版时间:2018-03-23 15:54

资助项目:重庆师范大学研究生创新项目(No. YKC16005)

第一作者简介:周焯,女,研究方向为环境灾害与生态保护, E-mail: 2276802749@qq.com; 通信作者:何太蓉,教授, E-mail: 125806808@qq.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20180323.1553.020.html>

尾松、四川山矾、楠竹、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、香樟 (*Cinnamomum camphora*)、丝栗栲 (*Castanopsis fargesii*)、华山松 (*Pinus armandii*)、四川大头茶 (*Gordonia acuminata*) 等^[9-11]。

2 研究方法

2.1 样地的设置及样品采集

2017 年 5 月于缙云山保护区内选择 3 个样地,分别为楠竹林、针阔混交林和常绿阔叶林,各样地内随机布设 3 个 1 m×1 m 的标准样方,采集各样方内的所有凋落物,同时记录相关基础数据(表 1)。各样方的海拔、土壤类型、气候条件等基本一致。

2.2 凋落物持水量与失水量的测定

将采集的凋落物带回实验室,称量各样方内凋落物自然状态下的质量即鲜质量后,将它们置于 80 °C 的烘箱内烘干至恒质量并称量,通过将单位样方内凋落物干质量进行单位换算得到凋落物储量(单位:t·hm⁻²)。

采用室内浸水法获取 3 种典型林分内凋落物持水性特征的相关数据。具体过程为:将未分解层与半分解层的凋落物均化处理,称取 50 g 烘干样装入规格为 15 cm×20 cm、孔径为 1 mm 的尼龙网袋并封口,于容器内浸泡。浸泡过程中注意使所有的枯落物淹没于水面以下,分别在浸水 0.5,1.5,3,5,8,12,16,24 和 36 h 后,捞起并静置 5 min 左右至凋落物不滴水时称量,测持水性。将浸水 36 h 后的凋落物置于实验室内通风处自然风干,分别在 0.5,1.5,3,5,8,12,16,24 和 36 h 后时称量,测失水性。每组实验各 3 次重复。

2.3 各指标计算方法

本研究采用的凋落物持水性的相关计算公式如下^[12-13]。

1) 凋落物自然含水率 R_0 (单位:%)计算公式为:

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

式中 M_0 为凋落物的鲜质量(单位:t·hm⁻²), M_d 为凋落物干质量(单位:t·hm⁻²)。

2) 凋落物持水量 W (单位:t·hm⁻²)计算公式为:

$$W = M_t - M_d$$

式中 M_t 为浸水 t 时间后的凋落物质量(单位:t·hm⁻²), M_d 为凋落物干质量(单位:t·hm⁻²)。

3) 凋落物持水率 R ,计算公式为:

$$R = W / M_d \times 100\%$$

凋落物持水率是凋落物持水量与凋落物干质量的比值,持水率越大,凋落物的持水性越好。

4) 凋落物持水速率 V (单位:t·hm⁻²·h⁻¹)计算公式为:

$$V = W / t$$

式中 t 为时间(单位:h)。

5) 凋落物的失水量 W' (单位:t·hm⁻²)计算公式为:

$$W' = M_{24} - M'_t$$

式中 M_{24} 为凋落物浸水 24 h 的凋落物质量(单位:t·hm⁻²), M'_t 为凋落物自然风干 t 时间后的凋落物质量(单位:t·hm⁻²)。

6) 凋落物失水率 R' ,计算公式为:

$$R' = W' / M_d \times 100\%$$

凋落物失水率是凋落物失水量与凋落物干质量的比值,失水率越大,失水性越好,即持水性越差。

7) 凋落物的失水速率 V' (单位:t·hm⁻²·h⁻¹)计算公式为:

$$V' = W' / t$$

表 1 样地基本情况

Tab. 1 General characteristics in different forest stands

林分类型	海拔/m	坡度/ (°)	坡向	凋落物层 厚度/cm	主要树种
楠竹林	483.3	17.3	NW	2.83±0.49	楠竹
针阔混交林	370.0	31.6	NE	2.06±0.49	马尾松、四川山矾
常绿阔叶林	463.3	26.3	NE	2.20±0.78	四川山矾

8) 凋落物有效拦蓄率 R_{sv} (单位: %) 计算公式为:

$$R_{sv} = 0.85R_{max} - R_0。$$

式中 R_{max} 为凋落物最大持水率, R_0 为凋落物自然含水率, 0.85 为有限拦蓄量的调整系数。

9) 凋落物有效拦蓄量 W_{sv} (单位: $t \cdot hm^{-2}$) 计算公式为:

$$W_{sv} = R_{sv} \times M。$$

式中 M 为凋落物储量(单位: $t \cdot hm^{-2}$)。

用 SPSS 20.0 进行凋落物持水量、持水率、持水速率及失水量、失水率、失水速率与时间曲线拟合, 并用决定系数 R^2 对方程的相关性进行判断, 得出最适模型。

3 结果与分析

3.1 3 种林分凋落物的储量分析

经野外样方调查并采样可知, 凋落物在地表分布不均, 因此取平均值代表该林分凋落物储量。3 种林分的凋落物储量在 $1.79 \sim 3.09 t \cdot hm^{-2}$ 之间, 楠竹林凋落物的储量明显大于常绿阔叶林。针阔混交林的储量明显大于常绿阔叶林。针阔混交林与常绿阔叶林的未分解层与半分解层

在各自林分凋落物中所占比例差别不大, 且半分解层与未分解层的比例均约为 3:1, 半分解层的厚度明显大于未分解层。由于楠竹林凋落物半分解层数量较少, 层次较薄不便采集, 因此本次实验仅采集楠竹林未分解的凋落物。

3 种林分凋落物储量与坡度之间存在正相关关系, 关系式为: $M = 0.5378s + 0.8298$ ($R^2 = 0.2841$), 3 种林分凋落物储量与总厚度之间存在负相关关系, 关系式为: $M = -0.0376d + 5.0844$ ($R^2 = 0.2408$)。

3.2 3 种林分凋落物的持水特性

3.2.1 凋落物持水量 经计算, 3 种林分凋落物持水量在前 0.5 h 持水量迅速增加, 0.5~12 h 持水量缓慢增加, 12 h 后持水量变化不大, 在 24 h 时几乎达到饱和(图 1a)。在浸水过程中, 持水量并不是始终随浸水时间的增加而增大——在持水量达到饱和后, 延长浸水时间, 持水量不但不增加反而减少, 这与刘世荣、温远光等人^[4]的研究结果中持水量与降水量的动态变化相似。持水量均表现为楠竹林最大, 针阔混交林次之, 常绿阔叶林最小; 凋落物的最大持水量表现为楠竹林最大($7.68 t \cdot hm^{-2}$), 针阔混交林次之($5.61 t \cdot hm^{-2}$), 常绿阔叶林最小($4.61 t \cdot hm^{-2}$)。

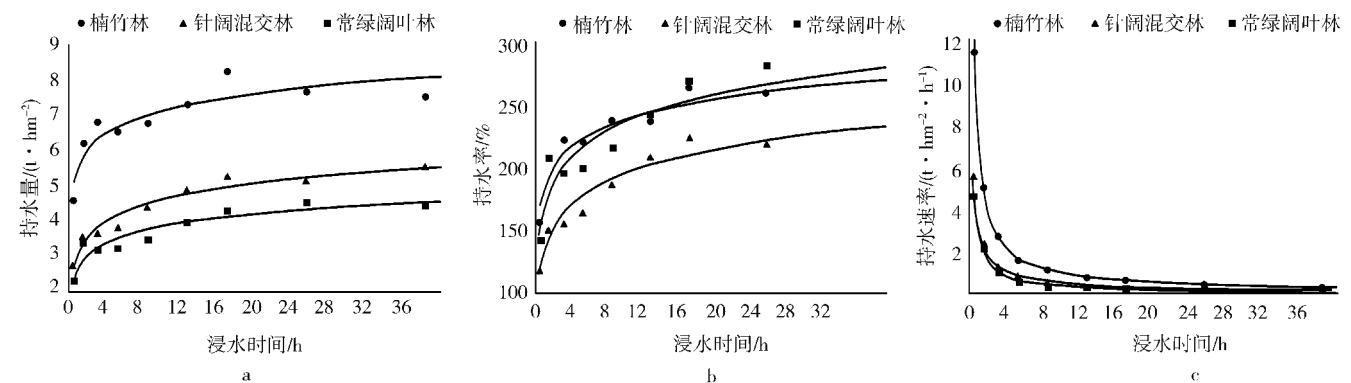


图 1 3 种林分凋落物的持水量、持水率、持水速率随浸水时间的变化

Fig. 1 The change of water-holding capacity, proportion of water-holding capacity and water-holding rate with immersion time of three stands

通过不同函数曲线拟合, 结果表明凋落物持水量与浸水时间的对数关系具有统计学意义 ($p < 0.001$), 这一关系可用 $W = a \ln t + b$ 表示, 其中 a, b 为方程系数。

3.2.2 凋落物持水率 经计算, 3 种凋落物持水率随着浸水时间的延长而增加, 在前 1.5 h 凋落物持水率迅速增加, 1.5~16 h 持水率增速减缓, 16 h 后持水率逐渐趋于饱和(图 1b)。在浸水过程中, 12 h 前楠竹林凋落物的持水率高于常绿阔叶林, 12 h 后相反。3 种林分中, 针阔混交林的持水率最小。凋落物的最大持水率排序为常绿阔

叶林最高(282.50%),楠竹林次之(263.77%),针阔混交林最低(236.27%)。

通过不同函数曲线拟合,结果表明凋落物持水率与浸水时间的对数关系具有统计学意义($p < 0.001$),持水率与浸水时间存在关系: $R = a \ln t + b$ 。

3.2.3 凋落物持水速率 经实验数据计算可得,楠竹林凋落物的持水速率在各时段最高,其次是针阔混交林,常绿阔叶林最低。3种凋落物在前0.5 h内的持水速率分别为11.45,5.62,4.65 $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。随着浸水时间的推进,3 h内急剧下降到2.69,1.23,1.07 $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,3 h后持水速率缓慢减小,浸水8 h后持水速率变化不大,降为1.09,0.56,0.44 $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (图1c)。

通过不同函数曲线拟合,结果表明凋落物持水速率与浸水时间的幂函数关系具有统计学意义($p < 0.001$),持水速率与浸水时间存在如下关系: $V = at^b$ 。式中 a 为方程系数, b 为指数。

各个数学模型的相关系数较高,拟合的效果较好(表3)。

3.3.3 种林分凋落物的失水特性

3.3.1 凋落物失水量 经计算,3种林分凋落物失水量随着时间的增加而增加,在前3 h内差别不大,3 h后逐渐呈现为楠竹林的失水量最大,针阔混交林的次之,常绿阔叶林的最小。在36 h时3种林分类型凋落物的失水量达到最大(图2a),分别为楠竹林的失水量最大(6.07 $t \cdot \text{hm}^{-2}$),针阔混交林的次之(4.63 $t \cdot \text{hm}^{-2}$),常绿阔叶林的最小(3.56 $t \cdot \text{hm}^{-2}$)。3种林分凋落物最大失水量与最大持水量的比值分别是针阔混交林82.53%、楠竹林79.03%、常绿阔叶林77.22%。楠竹林凋落物的失水量最大,符合周丽丽等人^[15]对凋落物的持水量越多则失水量越多的假设。拟合结果表明凋落物失水量与风干时间的对数关系具有统计学意义($p < 0.001$),存在关系: $W' = a \ln t + b$ 。

3.3.2 凋落物失水率 经计算,3种凋落物失水率变化趋势相同,在前3 h失水率迅速增加,3~15 h失水率缓慢增加,15 h后失水率逐渐趋于饱和(图2b)。在风干过程中,凋落物失水率排序为常绿阔叶林最高,针阔混交林次之,楠竹林最低,最大失水率表现为常绿阔叶林最高(227.83%),针阔混交林次之(194.82%),楠竹林最低(173.70%)。

拟合表明凋落物失水速率与风干时间的幂函数关系具有统计学意义($p < 0.001$),存在关系: $R' = at^b$ 。

3.3.3 凋落物失水速率 经实验数据计算可得,3种林分凋落物失水速率变化趋势一致,在前0.5 h内的失水速率是前1.5 h的1.5~2.5倍,随着风干时间的增加,3种林分凋落物的失水速率在0~1.5 h内快速减小,1.5~16 h失水速率缓慢减少,16 h后失水速率变化不大并逐渐稳定(图2c)。在0~16 h内常绿阔叶林凋落物的失水速率最高,其次是针阔混交林,楠竹林最低。在16~36 h内楠竹林凋落物的失水速率略高于常绿阔叶林和针阔混交林。

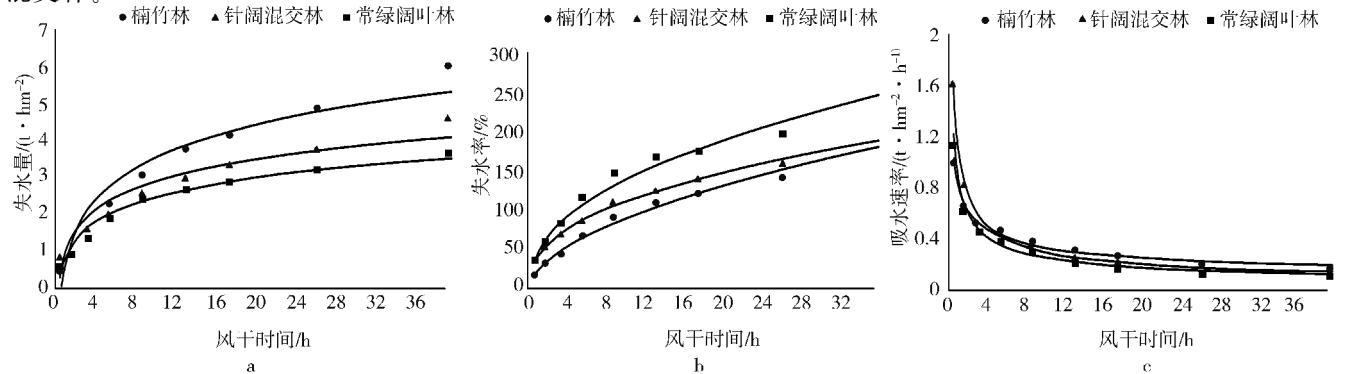


图 2 3 种林分凋落物的失水量、失水率和失水速率随浸水时间的变化

Fig. 2 The change of water-losing capacity, proportion of water-losing capacity and water-losing rate with seasoning time of three stands

表 3 3 种林分凋落物的持水量、持水率和持水速率与浸水时间的关系

Tab. 3 The relationship between water-holding capacity, proportion of water-holding capacity or water-holding rate and immersion time in litter of three stands

林分	关系式	R ²
楠竹林	$W = 0.6913 \ln t + 5.6236$	0.8236
	$R = 23.569 \ln t + 187.2$	0.9202
	$V = 6.7558 t^{-0.888}$	0.9983
针阔混交林	$W = 0.6699 \ln t + 3.1554$	0.9533
	$R = 28.13 \ln t + 133.69$	0.9547
	$V = 3.1798 t^{-0.837}$	0.9987
常绿阔叶林	$W = 0.5019 \ln t + 2.7655$	0.8895
	$R = 31.327 \ln t + 168.18$	0.8906
	$V = 2.7633 t^{-0.853}$	0.9963

通过不同函数曲线拟合,结果表明凋落物失水速率与风干时间的幂函数关系具有统计学意义($p < 0.001$),且存在关系: $V' = at^b$ 。各个数学模型的相关系数均大于 0.9,拟合的效果较好(表 4)。

3.4 凋落物对降水的拦蓄能力分析

凋落物对降水的拦蓄能力与凋落物的储量和自然含水率密切相关(表 5)。从表 5 可以看出,各林分自然持水率差异明显,这可能是由于针阔混交林地形坡度较大,不易于持水。各林分凋落物的有效拦蓄量排序为针阔混交林最大($2.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),楠竹林次之($1.44 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),常绿阔叶林最小($1.36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),有效拦蓄率大小排序与有效拦蓄量一致,这表明了针阔混交林拦蓄能力最好。最大持水率最高的楠竹林由于本身的自然含水率过大,导致有效拦蓄量并不大。常绿阔叶林的有效拦蓄率与针阔混交林相差不大,但由于凋落物储量最小,因此有效拦蓄量也最小。

表 4 3 种林分凋落物的失水量和失水速率与风干时间的关系

Tab. 4 The relationship between water-losing capacity, proportion of water-losing capacity or water-losing rate and seasoning time in litter of three stands

林分	关系式	R^2
楠竹林	$W' = 1.3159 \ln t' + 0.5889$	0.9288
	$R' = 24.457 t'^{0.5706}$	0.9908
	$V' = 0.7791 t'^{-0.4}$	0.9732
针阔混交林	$W' = 0.8812 \ln t' + 0.9201$	0.9327
	$R' = 43.549 t'^{0.416}$	0.9979
	$V' = 1.0448 t'^{-0.837}$	0.9989
常绿阔叶林	$W' = 0.7607 \ln t' + 0.7509$	0.9736
	$R' = 50.101 t'^{0.4533}$	0.9801
	$V' = 0.8157 t'^{-0.551}$	0.9881

表 5 不同林分类型凋落物有效拦蓄能力

Tab. 5 The water retention capacity of litter in different typical forests

林分	自然含水率/%	最大持水量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	最大持水率/%	有效拦蓄能力	
				有效拦蓄量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	有效拦蓄率/%
楠竹林	214.06 ± 0.23	7.68 ± 1.75	263.77 ± 0.30	1.44 ± 0.52	11.06 ± 6.05
针阔混交林	116.43 ± 0.10	5.61 ± 1.06	236.27 ± 0.02	2.17 ± 0.24	84.40 ± 1.57
常绿阔叶林	157.10 ± 0.19	4.61 ± 0.99	282.50 ± 0.04	1.36 ± 0.27	83.03 ± 3.75

4 结论与讨论

在缙云山保护区 3 种典型林分中,凋落物厚度排序为针阔混交林最大,楠竹林次之,常绿阔叶林最小,总储量排序为楠竹林最大($3.09 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),针阔混交林次之($2.51 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),常绿阔叶林最小($1.79 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),低于王云琦等人^[9]的储量数据 $5.08 \sim 16.21 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其中原因可能与采样时间不同、样地之间的差异性、室内浸水实验前对凋落物的预处理差异等有关,有研究显示缙云山凋落叶的高峰期是春季 5 月和秋季 10 月,不同高峰期的凋落量也有所差异^[16],因此本研究中凋落物量小于其他学者的相关实验研究数据是可信的。本研究中凋落物的厚度与储量之间存在正相关关系,与总厚度之间存在负相关关系。王云琦等人^[9,20]在缙云山的研究中同种林分凋落物厚度介于 $1.4 \sim 3.5 \text{ cm}$,而本研究中凋落物厚度介于 $2.06 \sim 2.83 \text{ cm}$,这可能是凋落物的组成成分不同、堆积状态的差异,引起不同凋落物紧实度不同,故测量的凋落物厚度也不同。

3 种林分凋落物的最大持水率排序为常绿阔叶林最高(282.50%),楠竹林次之(263.77%),针阔混交林最低(236.27%),虽然针阔混交林的最大持水率最小,但由于针阔混交林的凋落物储量最大,因此最大持水量排序为楠竹林最高($7.68 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),针阔混交林次之($5.61 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),常绿阔叶林最低($4.61 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),平均为凋落物质量的 3.5 倍,与前人研究的 2~4 倍基本吻合^[18]。失水量与持水量表现为正相关关系,最大失水量排序为楠竹林最高($6.07 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),针阔混交林次之($4.63 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),常绿阔叶林最低($3.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)。最大失水量与最大持水量的比值排序是针阔混交林最高(82.53%),楠竹林次之(79.03%),常绿阔叶林最低(77.22%),有效拦蓄量排序为针阔混交林最高($2.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),楠竹林次之($1.44 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),常绿阔叶林最低($1.36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),说明 3 种林分中楠竹林持水能力最好。

本研究中缙云山保护区 3 种林分凋落物的最大持水率($236.27\% \sim 282.50\%$),与暖温带的锐齿栎林($200.05\% \sim 279.22\%$)^[17]相似,与南亚热带不同发育阶段的杉木林($254.06\% \sim 262.42\%$)^[15]相当,高于中亚热带的毛竹林($179.34\% \sim 190.31\%$)^[18],高于中亚热带元谋热干河谷中的人工林($141.02\% \sim 210.26\%$)^[19],本研

究中凋落物的最大持水率较其他学者的研究偏大,说明缙云山自然保护区凋落物涵养水土的能力较好。王云琦等人^[9]的研究显示,最大持水率为针阔混交林 289.13%,阔叶林 242.15%,楠竹林 206.05%,与本研究有较大出入,可能与除楠竹外所选树种不同有关。

3种林分凋落物的持水量、持水率、持水速率、失水量、失水率、失水速率与时间的动态关系相似。通过拟合得到3种林分凋落物的持水量、持水率、失水量与时间的最适模型为 $W = a + b \ln t$ ($R = a + b \ln t$),失水率、持水速率、失水速率与时间的最适模型为 $V = at^b$ ($R = at^b$)。

本研究对缙云山保护区3种典型林分凋落物的持水量、持水率和有效拦蓄量等指标进行了分析与研究,但是对于该保护区内的其他林分的相关研究有待于后续进行,这将有助于完善各林分凋落物持水性特征的研究以及该区域水土保持和水源涵养功能的全面阐释。

致谢:感谢重庆师范大学地理与旅游学院彭锐真、姚磊在野外调查和室内实验中提供的帮助。

参考文献:

- [1] 郑江坤,王婷婷,付万全,等.川中丘陵区典型林分枯落物层蓄积量及持水特性[J].水土保持学报,2014,28(3):87-91.
ZHENG J K, WANG T T, FU W Q, et al. Storage and water holding characteristics of the litter layer of typical forest types in central Sichuan hilly region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(3): 87-91.
- [2] MAGUIRE D A. Branch mortality and potential litterfall from Douglas-fir trees in stands of varying density[J]. Forest Ecology & Management, 1994, 70(1/2/3): 41-53.
- [3] 薛立,何跃君,屈明,等.华南典型人工林凋落物的持水特性[J].植物生态学报,2005,29(3):415-421.
XUE L, HE Y J, QU M, et al. Water holding characteristics of litter in plantations in south China[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2005, 29(3): 415-421.
- [4] 魏强,凌雷,张广忠,等.甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性[J].应用生态学报,2011,22(10):2589-2598.
WEI Q, LING L, ZANG G Z, et al. Water-holding characteristics and accumulation amount of the litter under main forest types in Xinglong mountain of Gansu, northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(10): 2589-2598.
- [5] 常雅军,曹靖,马建伟,等.秦岭西部山地针叶林凋落物持水特性[J].应用生态学报,2008,19(11):2346-2351.
CHANG Y J, CAO J, MA J W, et al. Water-holding characteristics of coniferous forest litters in west Qinling mountain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(11): 2346-2351.
- [6] 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.
LIU X D, QIAO Y N, ZHOU G Y, et al. Water-holding characteristics of litters in three forests at different successional stages in Dinghushan[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(9): 8-15.
- [7] BATES J D, SVEJCAR T S, MILLER R F. Litter decomposition in cut and uncut western juniper woodlands[J]. Journal of Arid Environments, 2007, 70(2): 222-236.
- [8] YOSHINOBU S, TOMO'OMI K, TSUSHI K, et al. Experimental analysis of moisture dynamics of litter layers—the effects of rainfall conditions and leaf shapes[J]. Hydrological Processes, 2004, 18(16): 3007-3018.
- [9] 王云琦,王玉杰,张洪江,等.重庆缙云山几种典型植被枯落物水文特性研究[J].水土保持学报,2004,18(3):41-44.
WANG Y Q, WANG Y J, ZHANG H J, et al. Research on litter hydrology characteristic of typical vegetation in Jinyun mountain in Chongqing city[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(3): 41-44.
- [10] 陈引珍,程金花,张洪江,等.缙云山几种林分水源涵养和保土功能评价[J].水土保持学报,2009,23(2):66-70.
CHEN Y J, CHENG J H, ZHANG H J, et al. Evaluation of soil and water conservation capacity of several forest in Jinyun mountain[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(2): 66-70.
- [11] 耿绍波,杨晓菲,饶良懿,等.缙云山黛湖保护站不同林地枯落物及土壤持水性研究[C]//高安全.世界林业研究:长江流域生态建设与区域科学发展研讨会优秀论文集.北京:[出版者不详],2009:49-51.
DI S B, ANG X F, RAO L Y, et al. A study of water retention properties of soil and litter of forest in Daihu belay station of Jinyun mountain[C]//GAO F Q. World forestry research: ecological construction and regional seminar on scientific development of the Yangtze river basin outstanding proceedings. Beijing: [s.n.], 2009: 49-51.
- [12] 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.
HE Q F, ZHENG W, PENG Y H, et al. Water-holding characteristics of litter under main forest types in the middle reaches of Pearl river basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(1): 128-134.
- [13] 时忠杰,王彦辉,徐丽宏,等.六盘山主要森林类型枯落物的水文功能[J].北京林业大学学报,2009,31(1):91-99.
SHI Z J, WANG Y H, XU L H, et al. Hydrological func-

- tions of litter layer of typical forest types in the Liupan mountains of Ningxia, northwestern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(1): 91-99.
- [14] 刘世荣, 温远光, 王兵, 等. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- LIU S R, WEN Y G, WANG B, et al. Hydrological and ecological functions of forest ecosystem in China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996.
- [15] 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.
- ZHOU L L, CAI L P, MA X Q, et al. Eco-hydrological function in different developing stages of Chinese fir[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(5): 249-253.
- [16] 杨超. 缙云山常绿阔叶林凋落物量及动态研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- YANG C. Dynamics of litterfall of evergreen broad-leaved forest on Jinyun mountain [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.
- [17] 郭建荣, 朱学灵, 刘晓静, 等. 宝天曼自然保护区不同林龄锐齿栎林枯落物层水文特性[J]. 河南农业大学学报, 2012, 46(3): 268-272.
- GUO J R, ZHU X L, LIU X J, et al. Hydrological features of litter layer of quercus aliena var acuteserrata forest of different age in Baotianman nature reserve[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2012, 46(3): 268-272.
- [18] 赵雨虹, 范少辉, 夏晨. 亚热带 4 种常绿阔叶林分枯落物储量及持水功能研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(6): 93-98.
- ZHAO Y H, FAN S H, XIA C. A study on reserves and water holding function of litter in four types of evergreen broadleaved forest in subtropical zone of China[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2015, 39(6): 93-98.
- [19] 魏雅丽, 贺玉晓, 金杰, 等. 元谋干热河谷典型植被枯落物持水能力研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(3): 181-186.
- WEI Y L, HE Y X, JIN J, et al. Water conservation function of typical vegetation litters in Yuanmou dry-hot valley[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(3): 181-186.
- [20] 王栋, 张洪江, 程金花, 等. 重庆缙云山 4 种林地林下枯落物储量及其持水特性研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 126-132.
- WANG D, ZHANG H J, CHENG J H, et al. Reserves and water capacity characteristics of four kinds of litters in Jinyun mountain[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(4): 126-132.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Research on Water-Holding Character of Litter under Typical Vegetation in Chongqing Jinyun Mountain National Nature Reserve

ZHOU Ye, HE Tairong, WU Xueqian

(Chongqing Key Laboratory of Surface Process and Environment Remote Sensing in the Three Gorges Reservoir Area, College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] It aims to study the water-holding capacity of litter in three typical stands of Chongqing Jinyun mountain national nature reserve. [Methods] 81 litter bags were used to water-holding test and water-losing test for 36 hours respectively, then weight of litter was measured at each time point. The water-holding capacity (W), proportion of water-holding capacity (R), the water-holding rate (V), the water-losing capacity (W'), proportion of water-losing capacity (R'), the water-losing rate (V'), and other indicators were calculated. [Findings] The reserves were $(2.46 \pm 0.65) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, the maximum water-holding capacity were $(5.97 \pm 1.57) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, the maximum proportion of water holding capacity were $(260.85 \pm 23.23)\%$ and the maximum water loss were $(4.80 \pm 1.20) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, the maximum proportion of water-holding capacity were $(198.78 \pm 27.28)\%$. Water-holding capacity, proportion of water-holding capacity, water-losing capacity increased accordingly to $W = a + b \ln t$ ($R = a + b \ln t$) with the time increasing immersed in water or dried in air, and the equation of water-holding rate, proportion of water-losing capacity and water-losing rate of liter fall were $V = at^b$ ($R = at^b$) ($p < 0.001$). [Conclusions] The litter of *Phyllostachys pubescens* in three typical stands had best water-holding capacity in larger reserves, larger holding capacity, faster water-holding rate and so on.

Keywords: litter; water-holding character; Chongqing Jinyun mountain national nature reserve

(责任编辑 许甲)