

贵州百里杜鹃自然保护区杜鹃林枯落物储量及持水功能

张建利¹, 王加国¹, 李苇洁¹, 吴迪¹, 付雨东², 贾真真¹

(1. 贵州省山地资源研究所, 贵阳 550001; 2. 贵州百里杜鹃管理区城乡建设规划局, 贵阳 551500)

摘要: 为揭示贵州百里杜鹃自然保护区人工抚育及旅游管理对杜鹃林水土保持功能的影响, 选择轻度、中度、重度干扰强度的杜鹃林枯落物层作为研究对象, 采用室内浸泡法对不同干扰强度的杜鹃林枯落物层水文功能进行研究。结果表明: (1) 杜鹃林枯落物储量随干扰强度增加呈降低趋势, 随分解程度增加呈极显著升高趋势; 自然含水率随干扰强度增加呈降低趋势, 随分解程度增加总体呈升高趋势。 (2) 杜鹃林枯落物最大持水量随干扰强度增加呈降低趋势, 随分解程度增加呈极显著升高趋势。枯落物最大拦蓄量、最大拦蓄率、有效拦蓄量及有效拦蓄率均随干扰强度增加呈升高趋势。 (3) 枯落物层持水量变化特征呈倒“J”形。持水量(Q)与浸水时间(t)呈显著正相关关系($P < 0.05$), 其回归方程为 $Q = b + a \ln t$ 。枯落物浸水0~4 h内持水量逐渐增加, 4~48 h持水量增加趋势大幅减缓, 并逐渐趋于饱和。 (4) 枯落物层吸水速率呈“急剧降低—迅速降低—缓慢降低—趋于稳定”的变化特征。吸水速率(v)与浸水时间(t)均呈极显著负相关关系($P < 0.01$), 其回归方程为 $v = at^{-b}$ 。枯落物在1 h内发挥其水文功能的能力最强, 对时段内的降雨截流调蓄功能最大。

关键词: 自然保护区; 枯落物储量; 水文功能; 持水能力

中图分类号: S718.5; Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2018)03-0167-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.03.026

Litter Reserves and Water Holding Characteristics of Rhododendron Forest in Baili Rhododendron Nature Reserve of Guizhou

ZHANG Jianli¹, WANG Jiaguo¹, LI Weijie¹, WU Di¹, FU Yudong², JIA Zhenzhen¹

(1. Guizhou Institute of Mountain Resources, Guiyang 550001; 2. Urban and Rural

Construction Planning Bureau of Guizhou Baili Rhododendron Management Area, Guiyang 551500)

Abstract: This study, taking the litter layer of rhododendron forest with mild, moderate, and severe interference intensity as the research object, analyzed the hydrological function characteristics of the litter layer of different interference intensity on the basis of indoor immersion method, aimed to reveal the influence of artificial tending and tourism management on the function of soil and water conservation of rhododendron forest in Baili Rhododendron nature reserve. The results showed that: (1) The litter reserves decreased with the increase of interference intensity, while it increased significantly with the increase of decomposition degree; natural moisture content decreased with the increase of interference intensity, and increased with the increase of decomposition degree. (2) The maximum water-holding capacity of rhododendron forest litter decreased with the increase of interference intensity, and increased significantly with the increase of decomposition degree. The maximum interception amount, maximum interception rate, effective interception amount, and effective interception rate of litter rose with the increase of interference intensity. (3) The water-holding capacity variation of litter layer manifested as an inverted “J” feature. The water-holding capacity of litter layer (Q) was positively correlated with soaking time (t) ($P < 0.05$), and the regression equation was $Q = b + a \ln t$. The water-holding capacity increased gradually in the soaking time interval of 0~4 h, whereas the increase rate became slow in 4~48 h and then approached to saturation. (4) The water absorption rate of the litter layer was characterized by the cycles of “sharp reduction-rapid reduction-slow reduction-tending to

收稿日期: 2017-12-29

资助项目: 国家自然科学基金项目(41561109)

第一作者: 张建利(1981—), 男, 汉族, 博士, 副研究员, 主要从事植物生态与喀斯特退化森林生态系统恢复研究。E-mail: zhangjl-z@163.com

通信作者: 李苇洁(1977—), 女, 汉族, 硕士, 研究员, 主要从事森林生态及经济林栽培研究。E-mail: lwj024333@163.com

stabilization". The water absorption rate (v) was significantly negative correlated with soaking time (t) ($P < 0.01$), and the regression equation was $v = at^{-b}$. The litter had the strongest ability to play its hydrological function in 1h and showed the greatest function of rainfall interception in a short period of time.

Keywords: nature reserve; litter reserves; hydrographic function; water holding capacity

枯落物是联系植被和土壤物质循环与能量流动的重要中间环节^[1-2],是森林生态系统重要组成部分^[3-4],也是森林水文效应的第 2 活动层,发挥着截持降水、减少侵蚀、阻延地表径流、抑制土壤水分蒸发等重要的生态水文功能^[5-6]。这与枯落物种类、储量、分解程度、分布格局及其持水能力有密切关系,一般来说,枯落物层积累多、层次厚、分解快、分解较彻底,则具有孔隙多、细、小、吸水面大的特点,因而表面张力亦较大,其蓄水性能良好^[6-8]。近年来,国内外众多学者对不同区域不同森林类型的枯落物储量及其水文作用进行了大量研究^[9-13]。因此,枯落物作为评价森林生态系统物质能量平衡和发挥水源涵养的重要环节,越来越受到林学、生态学、微生物学、土壤学等领域的学者专家所重视^[14-16]。目前对于森林枯落物的研究多集中在东北和南方地区及各大自然保护区范围^[17-19],主要针对枯落物储量^[20]、持水特性^[21]、分解特征^[22]、生态化学计量^[23]、营养物质释放规律及枯落物分解与环境之间的关系等问题展开研究^[24-25],但对百里杜鹃自然保护区枯落物储量及水文功能研究鲜有报道。本研究选取贵州百里杜鹃自然保护区轻度、中度、重度干扰的杜鹃林未分解层、半分解层及已分解层枯落物作为研究对象,针对不同干扰强度下枯落物储量、自然持水率、最大持水量、最大拦蓄量、有效拦蓄率及枯落物持水过程等问题展开研究,为贵州百里杜鹃自然保护区林下管理及抚育提供科学依据和理论支持。

1 研究区概况

研究区域位于贵州省西北部大方县与黔西县交界处(105°45′30″—106°04′45″ E, 27°08′30″—27°20′00″ N),该区域是一片举世罕见的原始杜鹃林带,整个林带呈环状分布,海拔 1 300~1 800 m,长超过 50 km,宽 1~5 km,总面积 12 580 hm²^[26-28]。自然保护区建立之前,百里杜鹃是纯粹的生态旅游区,建立保护区之后,按照保护等级分为一级保护区、二级保护区和三级保护区。一级保护区包括 5 个生态保护区,主要包括大水、仁和、百纳、凤山、黄泥,禁止向游客开放;二级保护区包括 7 个花区,其中尤以金坡花区(面积 4 366.4 hm²)和普底花区(面积 8 213.6 hm²)的景观最为集中连片。因此,这 2 个花区划为生态旅游区;三级保护区位于保护区西南角^[29]。百里杜鹃自然保护区气候温暖湿润,属于中亚热带季风气候区,全年以东南风为主,但由于该地区地势较高,气候表

现为亚热带高原温凉气候^[28]。保护区年平均气温为 11.8 ℃,冬季最冷月 1 月平均气温 1.6 ℃,夏季最热月 7 月平均气温为 20.7 ℃,极端最高气温为 31.5 ℃,极端最低气温为 -9.3 ℃,保护区内凝冻期较长,雨淞 33.1 d,年降水量 1 180 mm 且多集中于夏季,雨季为每年 5—10 月,旱季为 11 月至次年 4 月,全年雨日 220.5 d,年日照时间 1 335.5 h,年平均相对湿度 84%,4 月平均相对湿度最小(79%),12 月平均相对湿度最大(89%),表现出冬湿春干的特点^[30-32]。土壤母质为煤系酸性土壤类型^[33]。自然保护区杜鹃花有 4 个亚属,种类约占贵州省的 1/3,常见杜鹃种类有马缨杜鹃(*Rhododendron delavayi* Franch.)、树形杜鹃(*Rhododendron arboreum* Smith.)、露珠杜鹃(*Rhododendron irroratum* Franch.)等^[34]。

2 研究方法

2.1 枯落物样品采集

2017 年 8 月中旬,在对百里杜鹃自然保护区植被调查的基础上,选择贵州百里杜鹃自然保护区一级保护区(黄泥乡夏木村)及二级保护区普底乡(普底花区)、金坡乡(金坡花区)作为研究对象,分别设置枯落物样品采集区域,每个采集区域分别随机选择轻度、中度、重度干扰梯度(轻度是有少量踩踏但未除杂、中度是清灌除杂、重度干扰为人为踩踏)的杜鹃植被群落 3 个作为林下枯落物采集样点,共计 27 个枯落物采集样点(表 1)。分别在每个样点中设置 50 cm×50 cm 枯落物样品采集样方,按照未分解层(由新鲜枯落物组成,枯落物颜色变化细微,结构完整,无分解迹象)、半分解层(枯落物颜色变黑,结构已破坏,多数枯落物已开始分解)及分解层(枯落物彻底粉碎,无法识别原有结构)3 个层次将样方内枯落物收集彻底^[35]。

2.2 枯落物水文功能测定

2.2.1 枯落物储量及自然含水率测定 将回收的 50 cm×50 cm 样方内枯落物带回实验室后,去除泥土和植物根系,采用分析天平称取其重量,将其置于 80 ℃烘箱内,烘至恒重称其重量,用于计算枯落物储量(t/hm²)及自然含水率(%),计算公式为^[36-37]:

$$M = M_d / 100$$

$$R_n = (M_w - M_d) / M_d \times 100\%$$

式中: M 为枯落物储量(t/hm²); M_d 为枯落物干重(g/m²); R_n 为枯落物自然含水率(%); M_w 为枯落物湿重(g/m²)。

表 1 枯落物采集样点描述

样点	地理位置	地理坐标		海拔/m	坡向	坡度/(°)	干扰程度	优势种
		N	E					
1	金坡乡	105°56'10.56"	27°12'5.83"	1688	西北	13	轻度	露珠杜鹃
2	金坡乡	105°55'33.26"	27°11'53.93"	1638	南	5	中度	露珠杜鹃
3	金坡乡	105°55'30.21"	27°11'49.83"	1633	西北	3	重度	露珠杜鹃
4	金坡乡	105°56'50.17"	27°11'49.83"	1634	北	6	轻度	多脉青冈栎
5	金坡乡	105°56'50.56"	27°11'20.17"	1623	南	6	中度	露珠杜鹃
6	金坡乡	105°56'51.16"	27°11'19.08"	1582	北	5	重度	露珠杜鹃
7	金坡乡	105°57'54.91"	27°10'47.29"	1592	北	3	轻度	马缨杜鹃
8	金坡乡	105°57'55.22"	27°10'48.05"	1563	北	7	中度	马缨杜鹃
9	金坡乡	105°57'55.90"	27°10'48.59"	1457	北	3	重度	马缨杜鹃
10	普底乡	105°51'52.11"	27°14'17.90"	1727	北	3	轻度	马缨杜鹃
11	普底乡	105°51'52.94"	27°14'16.85"	1733	南	5	中度	马缨杜鹃
12	普底乡	105°51'52.86"	27°14'18.21"	1723	北	3	重度	马缨杜鹃
13	普底乡	105°51'51.77"	27°14'19.33"	1678	北	3	轻度	马缨杜鹃
14	普底乡	105°51'57.34"	27°14'36.89"	1765	北	3	中度	马缨杜鹃
15	普底乡	105°51'50.56"	27°13'51.49"	1692	北	3	重度	马缨杜鹃
16	普底乡	105°51'58.31"	27°14'36.78"	1766	北	5	轻度	马缨杜鹃
17	普底乡	105°51'51.30"	27°13'52.04"	1693	南	3	中度	马缨杜鹃
18	普底乡	105°51'51.33"	27°13'46.40"	1678	北	3	重度	露珠杜鹃
19	黄泥乡	106°03'44.77"	27°15'42.68"	1476	北	5	轻度	马缨杜鹃
20	黄泥乡	106°03'59.02"	27°15'23.54"	1435	北	2	中度	马缨杜鹃
21	黄泥乡	106°03'56.47"	27°15'31.00"	1453	北	7	重度	马缨杜鹃
22	黄泥乡	106°03'42.47"	27°15'43.79"	1456	西南	5	轻度	马缨杜鹃
23	黄泥乡	106°03'44.95"	27°15'43.21"	1475	西	3	中度	马缨杜鹃
24	黄泥乡	106°04'04.45"	27°15'22.56"	1393	北	3	重度	马缨杜鹃
25	黄泥乡	106°03'42.55"	27°15'47.33"	1462	平地	0	轻度	马缨杜鹃
26	黄泥乡	106°03'41.50"	27°15'47.80"	1463	北	6	中度	马缨杜鹃
27	黄泥乡	106°03'41.50"	27°15'47.80"	1468	东	15	重度	马缨杜鹃

2.2.2 枯落物水文功能 将回收的枯落物置于 80 ℃烘箱,烘干至恒重后装入网袋中(孔径 1 mm×1 mm),扎好袋口称重,然后将其分别浸入清水中 48 h 后捞起,静置待枯落物不再滴水及时称重(湿重),用于计算最大持水率(量)、最大拦蓄率(量)、有效拦蓄率(量),计算公式为^[21,38-39]:

$$M_{w\max} = R_{\max} \times M$$

$$R_{\max} = (M_{48w} - M_d) / M_d \times 100$$

$$RI_{\max} = R_{\max} - R_n$$

$$MI_{\max} = RI_{\max} \times M$$

$$R_{sv} = 0.85R_{\max} - R_n$$

$$M_{sv} = R_{sv} \times M$$

式中: R_{\max} 为枯落物最大持水率(%); M_{48w} 为枯落物浸水 48 h 后湿重(g); RI_{\max} 表示枯落物最大拦蓄率(%); R_{sv} 表示枯落物有效拦蓄率(%);0.85 表示有效拦蓄系数。

2.2.3 枯落物持水特性 将回收的枯落物置于 80 ℃烘箱,烘干至恒重后装入分解网袋中(孔径 1 mm×1 mm),扎好袋口称重,然后将其分别浸入清水中 0.08, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 24, 48 h 后捞起,静置待

枯落物不再滴水及时称重(湿重)。枯落物水文特征计算公式为^[40-41]:

$$Q_t = (M_{tw} - M_d) / M_d \times 1000$$

$$v = Q_t / t$$

式中: Q_t 为浸水 t 时间段枯落物持水量(g/kg); M_{tw} 为枯落物浸水 t 时间后湿重(g), M_d 为枯落物干重(g); v 为枯落物吸水速率(g/(kg·h)); t 表示枯落物浸水时间(h)。

2.3 统计分析

枯落物统计分析,采用 Excel 2016 软件进行整理,采用 SPSS 25 软件进行方差分析(One-Way ANOVA),采用 Sigma plot 12.0 软件进行绘图。

3 结果与分析

3.1 枯落物储量及自然含水率特征

枯落物层储量的大小直接影响着林地的水源涵养功能。由表 2 可知,枯落物总储量间差异不显著($F=2.79, P=0.08$),但储量随干扰强度增加呈降低趋势,分别为 16.26, 12.19, 12.01 t/hm²。相同干扰强度枯落物储量随分解程度增加呈极显著升高趋势($F=19.65, P<0.01$; $F=33.20, P<0.01$; $F=$

61.59, $P < 0.01$); 相同枯落物层储量随干扰强度增加总体呈降低趋势 ($F = 0.42, P = 0.67; F = 0.02, P = 0.98; F = 3.19, P = 0.06$)。

表 2 百里杜鹃自然保护区枯落物储量

分解程度	枯落物储量/(t·hm ⁻²)			F	P
	轻度	中度	重度		
未分解	3.16±0.43	2.84±0.38	2.68±0.30	0.42	0.67
半分解	3.25±0.48	3.19±0.2	3.16±0.37	0.02	0.98
已分解	9.86±1.83	6.16±0.81	6.17±0.62	3.19	0.06
总储量	16.26±2.06	12.19±1.19	12.01±0.77	2.79	0.08
F	19.65	33.20	61.59		
P	<0.01	<0.01	<0.01		

枯落物自然含水率是评价枯落物水源涵养功能的重要指标之一,自然含水率的高低直接影响着枯落物对降雨的拦截功能。由图 1 可知,杜鹃林枯落物自然含水率随干扰强度增加呈降低趋势(73.58%,66.84%,50.76%)。相同干扰强度枯落物层自然含水率随分解程度增加总体呈升高趋势($F = 1.77, P = 0.19; F = 6.21, P < 0.05; F = 4.15, P < 0.05$);相同枯落物层自然含水率随干扰强度增加总体呈降低趋势($F = 1.88, P = 0.18; F = 2.51, P = 0.10; F = 1.47, P = 0.25$)。

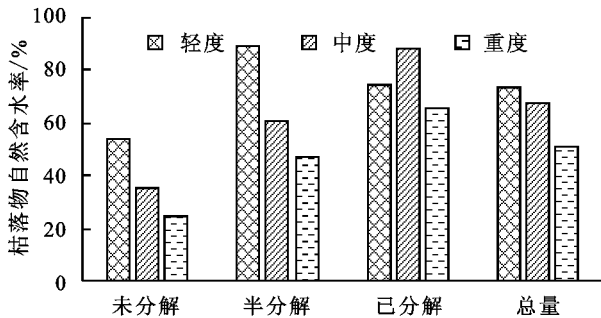


图 1 百里杜鹃自然保护区枯落物自然含水率

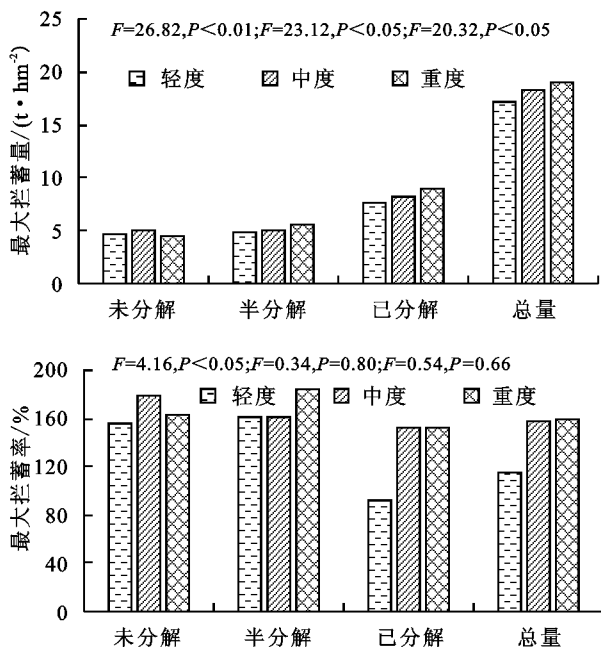


图 2 百里杜鹃自然保护区枯落物水文特征

3.2 枯落物最大持水量

枯落物的分解程度、组成结构及储量是影响枯落物最大持水量的主要因素,枯落物不同分解层的最大持水量是评价枯落物水源涵养的重要组成部分。由表 3 可知,杜鹃林枯落物最大持水量随干扰强度增加呈降低趋势($F = 0.84, P = 0.44$),最大持水量分别为 29.75,26.67,25.18 t/hm²。相同干扰强度枯落物层最大持水量随分解程度增加呈极显著升高趋势($F = 31.55, P < 0.01; F = 52.23, P < 0.01; F = 28.80, P < 0.01$);相同枯落物层最大持水量随干扰强度增加总体呈降低趋势($F = 0.88, P = 0.43; F = 0.55, P = 0.59; F = 0.45, P = 0.54$)。

表 3 百里杜鹃自然保护区枯落物最大持水量

分解程度	枯落物最大持水量/(t·hm ⁻²)			F	P
	轻度	中度	重度		
未分解	6.45±0.73	6.16±0.91	5.03±0.65	0.88	0.43
半分解	7.81±0.89	6.91±0.21	7.05±0.72	0.55	0.59
已分解	15.48±2.26	13.6±1.27	13.1±1.98	0.45	0.64
总量	29.75±2.83	26.67±2.11	25.18±2.56	0.84	0.44
F	31.55	52.23	28.80		
P	<0.01	<0.01	<0.01		

3.3 枯落物拦蓄特征

通常采用最大拦蓄量和最大拦蓄率评价枯落物持水特性,用有效拦蓄量和有效拦蓄率反映枯落物实际拦蓄效果^[42-43]。由图 2 可知,杜鹃林枯落物最大拦蓄量、最大拦蓄率、有效拦蓄量及有效拦蓄率均随干扰强度增加呈升高趋势($F = 0.17, P = 0.84; F = 1.79, P = 0.19; F = 0.42, P = 0.66; F = 1.80, P = 0.19$)。相同干扰强度枯落物最大拦蓄量与有效拦蓄量随分解程度增加均呈极显著升高趋势;而最大拦蓄率与有效拦蓄率随分解程度增加呈降低趋势。

3.4 枯落物持水过程

枯落物水源涵养功能随着自然含水率的升高而降低, 持水速率随之降低; 同时, 其持水能力与枯落物的储量、分解程度密切相关。由图 3 可知, 枯落物层总持水量呈倒“J”形, 即: 迅速增加(0~0.5 h)—缓慢增加(0.5~4 h)—趋于稳定(4~48 h)的变化趋势。枯落物浸水 0~0.5 h 内枯落物总持水量迅速增加, 枯落物总持水量变化范围为 1 541.68~1 791.71 g/kg, 占总持水量的 79.36%~81.23%。除轻度干扰强度外, 中度、重度干

扰杜鹃林枯落物层持水量均呈分解层>半分解层>未分解层, 这可能与枯落物层储量、厚度及枯落物组成结构有关。0.5~4 h 内枯落物层持水量呈缓慢增加。4~48 h 枯落物层持水量增加趋势大幅减缓, 枯落物持水量逐渐趋于饱和。对枯落物层持水量与浸水时间进行相关性分析发现(表 3), 枯落物层持水量(Q)与浸水时间(t)均呈显著正相关关系(P<0.05), 拟合方程为 $Q = b + a \ln t$ 。式中: Q 表示枯落物持水量(g/kg); t 表示枯落物浸水时间(h); a 表示方程系数; b 表示方程常数项。

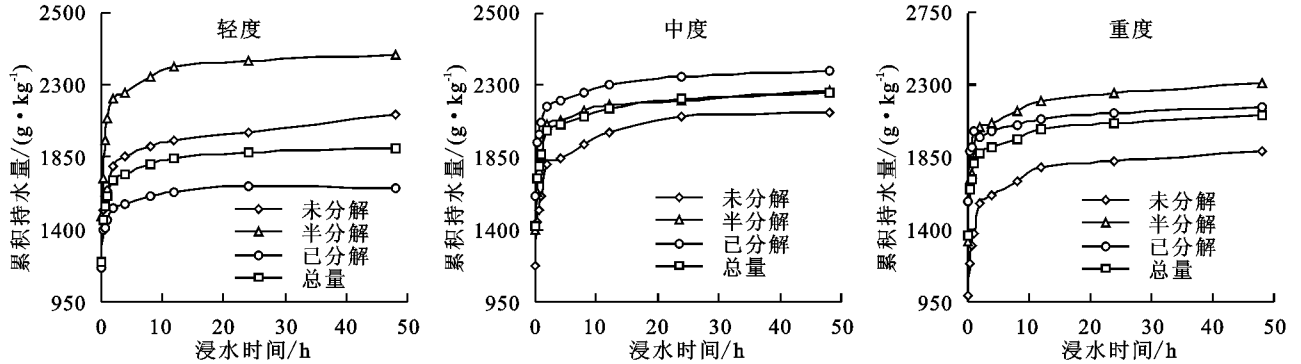


图 3 枯落物持水过程

表 3 枯落物持水量与浸水时间拟合方程

分层	轻度			中度			重度		
	关系式	R ²	Sig.	关系式	R ²	Sig.	关系式	R ²	Sig.
未分解	$Q_t = 1639.02 + 131.71 \ln t$	0.95	<0.01	$Q_t = 1621.36 + 148.39 \ln t$	0.98	<0.01	$Q_t = 1393.72 + 144.34 \ln t$	0.98	<0.01
半分解	$Q_t = 1999.30 + 157.14 \ln t$	0.94	<0.01	$Q_t = 1836.22 + 133.45 \ln t$	0.94	<0.01	$Q_t = 1840.88 + 141.38 \ln t$	0.94	<0.01
已分解	$Q_t = 1441.80 + 73.01 \ln t$	0.91	<0.01	$Q_t = 2028.30 + 109.49 \ln t$	0.92	<0.01	$Q_t = 1914.11 + 72.87 \ln t$	0.82	<0.01
总量	$Q_t = 1575.22 + 103.96 \ln t$	0.94	<0.01	$Q_t = 1849.85 + 122.62 \ln t$	0.95	<0.01	$Q_t = 1751.13 + 105.02 \ln t$	0.94	<0.01

3.5 枯落物吸水过程

由图 4 可知, 枯落物层吸水速率呈现急剧降低(0~0.08 h)—迅速降低(0.08~1 h)—缓慢降低(1~2 h)—趋于稳定(2~48 h)的变化特征。枯落物在浸水 0~1 h 内吸水速率最高, 在 1 h 内发挥其水文功能的能力最强, 其对短时降雨截流调蓄功能

最大。枯落物层吸水速率与浸水时间进行相关性分析发现(表 4), 枯落物层吸水速率(v)与浸水时间(t)均呈极显著负相关关系(P<0.01), 拟合方程为: $v = at^{-b}$ 。式中 v 表示枯落物吸水速率(g/(kg·h)); t 表示枯落物浸水时间(h); a 表示方程系数; b 表示方程常数项。

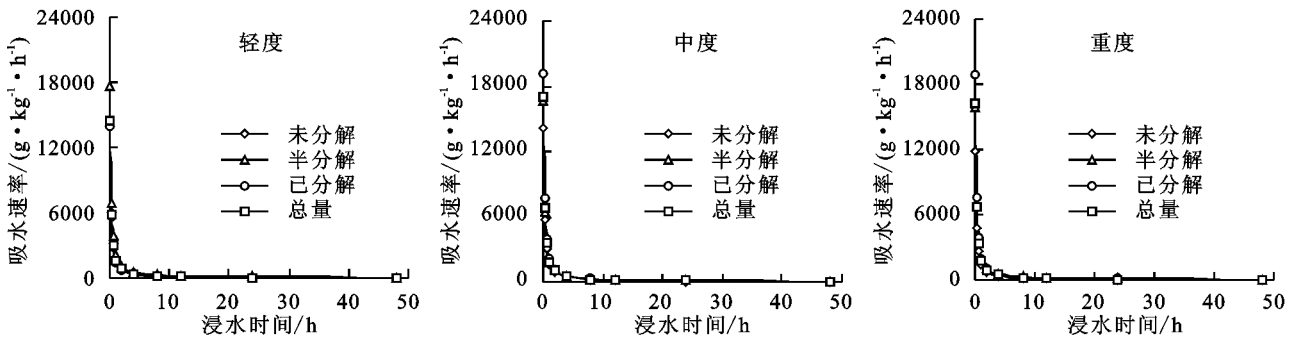


图 4 枯落物吸水过程

表 4 枯落物吸水速率与浸水时间拟合方程

分层	轻度			中度			重度		
	关系式	R ²	Sig.	关系式	R ²	Sig.	关系式	R ²	Sig.
未分解	$v = 1580.01t^{-0.92}$	0.991	<0.01	$v = 1504.36t^{-0.90}$	0.996	<0.01	$v = 1344.17t^{-0.90}$	0.994	<0.01
半分解	$v = 1938.94t^{-0.92}$	0.993	<0.01	$v = 1739.68t^{-0.92}$	0.996	<0.01	$v = 1757.28t^{-0.92}$	0.985	<0.01
已分解	$v = 1386.03t^{-0.94}$	0.987	<0.01	$v = 1872.98t^{-0.95}$	0.980	<0.01	$v = 1737.48t^{-0.96}$	0.947	<0.01
总量	$v = 1528.65t^{-0.93}$	0.992	<0.01	$v = 1742.22t^{-0.93}$	0.993	<0.01	$v = 1657.17t^{-0.94}$	0.976	<0.01

4 讨论与结论

(1) 杜鹃林枯落物储量随干扰强度增加呈降低趋势(16.26, 12.19, 12.01 t/hm²), 随分解程度增加呈极显著升高趋势($F=19.65, P<0.01; F=33.20, P<0.01; F=61.59, P<0.01$)。枯落物自然含水率随干扰强度增加呈降低趋势(73.58%, 66.84%, 50.76%), 随分解程度增加总体呈升高趋势($F=1.77, P=0.19; F=6.21, P<0.05; F=4.15, P<0.05$)。杜鹃林枯落物储量明显高于郭屹立等^[44]对北热带喀斯特季节性雨林凋落物储量(4.96 t/hm²), 与刘蔚漪等^[45]对滇南亚热带地区常绿阔叶林凋落物储量研究结果较为接近(12.47 t/hm²)。枯落物储量变化规律与何琴飞等^[21]在珠江流域中游主要森林类型凋落物结论相一致。这一结果表明杜鹃林枯落物分解较慢, 尤其是后期分解速率更为缓慢, 这与杜鹃林枯落物特性具有很强的关联性。

(2) 杜鹃林枯落物最大持水量随干扰强度增加呈降低趋势(29.75, 26.67, 25.18 t/hm²), 随分解程度增加呈极显著升高趋势($F=31.55, P<0.01; F=52.23, P<0.01; F=28.80, P<0.01$)。最大拦蓄量、最大拦蓄率、有效拦蓄量及有效拦蓄率均随干扰强度增加呈升高趋势, 最大拦蓄量与有效拦蓄量随分解程度增加均呈极显著升高趋势, 而最大拦蓄率与有效拦蓄率呈降低趋势。

(3) 枯落物层持水量呈倒“J”形特征, 即: 迅速增加—缓慢增加—趋于稳定的变化趋势。枯落物层持水量(Q)与浸水时间(t)呈显著正相关关系($P<0.05$), 其回归方程为 $Q=b+alnt$ 。这一研究结果与吕刚等^[42]对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结果一致, 枯落物浸水 0~4 h 内持水量逐渐增加, 4~48 h 持水量增加趋势大幅减缓, 持水量逐渐趋于饱和。

(4) 枯落物层吸水速率呈现急剧降低—迅速降低—缓慢降低—趋于稳定的变化特征。吸水速率(v)与浸水时间(t)均呈极显著负相关关系($P<0.01$), 其回归方程为 $v=at^{-b}$ 。这一研究结果与吕刚等^[42]对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结果存在一定差异。本研究认为杜鹃林枯落物在 1 h 内发挥其水文功能的能力最强, 枯落物对短时内的降雨截流调蓄功能最大。

(5) 本研究对贵州百里杜鹃自然保护区杜鹃林下枯落物储量、水文功能及过程特征进行分析。结果表明, 人为干扰对枯落物储量、自然含水率具有一定影响, 而适度干扰对枯落物发挥水文功能具有一定促进

作用。该结论对于指导百里杜鹃抚育及旅游管理具有一定指导意义, 对进一步研究杜鹃林下土壤水文特征奠定了基础, 而枯落物在减少土壤侵蚀、抑制林地土壤水分蒸发等方面还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李学斌, 马琳, 杨新国, 等. 荒漠草原典型植物群落枯落物生态水文功能[J]. 生态环境学报, 2011, 20(5): 834-838.
- [2] 刘芝芹, 黄新会, 涂璟, 等. 云南高原不同林分类型枯落物储量及持水特性[J]. 生态环境学报, 2015, 24(6): 919-924.
- [3] Yu S Y, Jian F G, Guang S C, et al. Litterfall, nutrient return, and leaf-litter decomposition in four plantations compared with a natural forest in subtropical China [J]. Annals of Forest Science, 2004, 61(5): 465-476.
- [4] Pausas J G, Casals P. Litter decomposition and faunal activity in Mediterranean forest soils: Effects of N content and the mass layer [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(6): 989-997.
- [5] 陈波, 杨新兵, 赵心苗, 等. 冀北山地 6 种天然纯林枯落物及土壤水文效应[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 196-202.
- [6] 刘玉国, 刘长成, 李国庆, 等. 贵州喀斯特山地 5 种森林群落的枯落物储量及水文作用[J]. 林业科学, 2011, 47(3): 82-88.
- [7] 王绍忠. 森林凋落物涵养水源生态功能研究进展[J]. 中南林业调查规划, 2014, 33(3): 43-46.
- [8] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 川西亚高山人工针叶林枯枝落叶及苔藓层的持水性能[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(3): 234-238.
- [9] Liu G, Sun J, Tian K, et al. Long-term responses of leaf litter decomposition to temperature, litter quality and litter mixing in plateau wetlands [J]. Freshwater Biology, 2017, 62(1): 178-190.
- [10] Acharya B S, Stebler E, Zou C B. Monitoring litter interception of rainfall using leaf wetness sensor under controlled and field conditions [J]. Hydrological Processes, 2017, 31(1): 240-249.
- [11] Sato Y, Kumagai T, Kume A, 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.
- [12] 张建利, 吴华, 喻理飞, 等. 草海湿地流域优势树种凋落物叶分解与水文特征研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(3): 98-103.
- [13] 聂小飞, 郑海金, 左继超, 等. 枯落物覆盖对红壤坡地土壤水分特性的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(6): 85-89.
- [14] 魏强, 凌雷, 王多锋, 等. 甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及其影响因素[J]. 林业科学研究, 2015, 28(6): 818-825.
- [15] 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.
- [16] 郭婧, 喻林华, 方晰, 等. 中亚热带4种森林凋落物量、组成、动态及其周周期[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4668-4677.
- [17] 葛结林, 熊高明, 李家湘, 等. 中国南方灌丛凋落物现存量[J]. 植物生态学报, 2017, 41(1): 5-13.
- [18] 邓秀秀, 王忠诚, 李程, 等. 浙江天童常绿阔叶林凋落物量季节动态及其与气象因子的关系[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(3): 73-78.
- [19] 杨新芳, 鲍雪莲, 胡国庆, 等. 大兴安岭不同火烧年限森林凋落物和土壤C、N、P化学计量特征[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1359-1367.
- [20] 崔鸿侠, 潘磊, 黄志霖, 等. 神农架巴山冷杉林凋落物量养分归还及分解特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(1): 194-198.
- [21] 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.
- [22] 施妍, 陈芳清. 大老岭自然保护区日本落叶松林凋落物分解及养分释放研究[J]. 林业科学研究, 2016, 29(3): 430-435.
- [23] 姜沛沛, 曹扬, 陈云明. 陕西省森林群落乔灌草叶片和凋落物C、N、P生态化学计量特征[J]. 应用生态学报, 2016, 27(2): 365-372.
- [24] 母悦, 耿元波. 内蒙古羊草草原凋落物分解过程中营养元素的动态[J]. 生态环境学报, 2016, 25(7): 1154-1163.
- [25] 徐波, 朱忠福, 李金洋, 等. 九寨沟自然保护区4个典型树种叶片凋落物在林下及高山湖泊中的分解及养分释放特征[J]. 植物生态学报, 2016, 40(9): 883-892.
- [26] 刘纪岗, 谢元贵, 杨小庆. 贵州百里杜鹃大草原景区迷人杜鹃群落特征研究[J]. 广东农业科学, 2012, 39(9): 46-48.
- [27] 傅伟聪, 齐津达, 朱志鹏, 等. 百里杜鹃森林公园杜鹃盛开期大气颗粒物浓度变化特征[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(2): 288-294.
- [28] 张长芹, 黄承玲, 黄家勇, 等. 贵州百里杜鹃自然保护区杜鹃花属种质资源的调查[J]. 植物分类与资源学报, 2015, 37(3): 357-364.
- [29] 李苇洁, 聂忠兴, 龙秀琴, 等. 百里杜鹃自然保护区雪凝灾情分析及重建思考[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 111-114.
- [30] 黄小龙. 百里杜鹃自然保护区脊椎动物资源与环境变迁关系研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.
- [31] 高蕾. 贵州省百里杜鹃景区杜鹃花产业园规划的探讨[D]. 河北 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2016.
- [32] 骆强, 江洪. 贵州百里杜鹃国家森林公园土生和石生苔藓植物比较研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(3): 264-268.
- [33] 吴倩楠, 董建文, 郑宇, 等. 百里杜鹃国家森林公园优势种生态位研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(2): 175-180.
- [34] 潘鸿, 唐宇宏. 贵州百里杜鹃国家森林公园藻类植物初步调查[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2008, 26(2): 22-26.
- [35] 武启骞, 王传宽, 赵娟, 等. 帽儿山2种森林类型凋落物和土壤水文效应[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 161-166.
- [36] 张鹏, 王新杰, 衣晓丹, 等. 杉木不同生长阶段凋落物持水性与养分储量[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(10): 58-62.
- [37] 李兵, 孙同高, 范春楠, 等. 长白山森林群落凋落物现存量及其组成[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(2): 48-52.
- [38] 吴金卓, 孔琳琳, 王娇娇, 等. 吉林蛟河不同演替阶段针阔混交林凋落物持水特性研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2016, 40(2): 113-120.
- [39] 侯晓丽, 许建新, 薛立. 冰雪灾害对粤北杉木林林冠残体和凋落物持水特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(11): 86-91.
- [40] 许文盛, 王一峰, 童晓霞, 等. 紫鹊界梯田区植被凋落物水资源调配特性[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 130-135.
- [41] 常雅军, 陈琦, 曹靖, 等. 甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2392-2400.
- [42] 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凋落物持水特性研究[J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 146-152.
- [43] 梁晓娇, 王树力. 阿什河源头不同类型红松人工林凋落物及其土壤水文特性[J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 140-145.
- [44] 郭屹立, 李冬兴, 王斌, 等. 北热带喀斯特季节性雨林凋落物组构成及时空动态[J]. 生物多样性, 2017, 25(3): 265-274.
- [45] 刘蔚漪, 喻庆国, 罗宗伟, 等. 滇南亚热带地区典型公益林与商品林凋落物储量及持水特性[J]. 生态环境学报, 2017, 26(10): 1719-1727.