

# 贵阳市不同林龄马尾松林凋落物储量及持水特性

陈进, 徐明, 邹晓, 陶实德, 汪东宇, 张健

(贵州大学 生命科学学院, 贵阳 550025)

**摘要:**以贵阳市花溪区孟关林场不同林龄马尾松人工林为研究对象,采用时空替代法,选取不同林龄样地依次为林窗(对照)、幼龄林、中龄林、成熟林、过熟林 5 个样地,通过野外调查和室内分析的方法,对贵阳地区不同林龄马尾松林凋落物的储量及持水特性进行了研究。结果表明:不同林龄马尾松人工林凋落物储量及其持水特性存在显著差异( $p < 0.05$ ),呈现先增后减的趋势,均表现出成熟林最大,幼龄林最小,其中,成熟林凋落物储量、最大持水量、最大持水率、有效拦蓄量分别为:35.29 t/hm<sup>2</sup>, 84.48 t/hm<sup>2</sup>, 239.49%, 38.31 t/hm<sup>2</sup>;幼龄林凋落物储量、最大持水量、最大持水率、有效拦蓄量分别为:10.19 t/hm<sup>2</sup>, 12.33 t/hm<sup>2</sup>, 120.38%, 6.71 t/hm<sup>2</sup>;吸水速率开始 0.25 h 内最快,表明马尾松凋落物可在短时间发挥截水作用。通过对贵阳市不同林龄马尾松凋落物储量及持水性的对比得到:贵阳市马尾松成熟林具有最佳的生态水文特性。

**关键词:**森林生态学; 持水能力; 凋落物; 马尾松

中图分类号:S715.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)06-0146-06

## Litter layer Reserve and Water Holding Capacity of *Pinus massoniana* in Different Successional Stages in Guiyang

CHEN Jin, XU Ming, ZOU Xiao, TAO Shide, WANG Dongyu, ZHANG Jian

(College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Taking *Pinus massoniana* plantations with different ages in Mengguan Forest Farm of Huaxi District of Guiyang City as the research objects, the forest gap (control), young forest, middle forest, mature forest and over-mature forest were selected to examine the litter reserves and water holding capacity by field investigation and laboratory analysis. The results showed that there were significant differences ( $p < 0.05$ ) in the litter reserves and water holding capacities at the different ages, the regular patterns of the litter reserves and water holding capacities first increased and then decreased, litter reserves and water holding capacities were the largest in mature forest and the smallest in the young forest. the litter reserves, the maximum water holding capacity, the maximum water holding capacity and the modified interception of mature forest were 35.29 t/hm<sup>2</sup>, 84.48 t/hm<sup>2</sup>, 239.49% and 38.31 t/hm<sup>2</sup>, respectively; they were 10.19 t/hm<sup>2</sup>, 12.33 t/hm<sup>2</sup>, 120.38% and 6.71 t/hm<sup>2</sup> in the young forest; water absorption rate increased fastest within the initial 0.25 h, indicating that the litter could play the role in water interception in a short period of time. This study shows that the mature forest has the best eco-hydrological characteristics.

**Keywords:** forest ecology; water holding capacity; litter; *Pinus massoniana*

凋落物是覆被在森林生态系统土壤表面由森林植被群落随季节凋落的枯落物组成的地被物,是森林生态系统水土保持的重要功能层,它在阻截地表径

流、损耗雨滴动能以防止土壤飞溅侵蚀、涵养土壤水分以及促进森林生态系统物质循环和能量流动等方面具有重要生态服务功能<sup>[1-3]</sup>。马尾松(*Pinus mas-*

*soniana* Lamb.)是我国南方的乡土物种和退化生态系统恢复造林工程中主要的先锋树种,在南方省区分布广泛,西起四川二郎山、贵州青衣江和广西百色,东至东南沿海以及台湾北部;南抵广东雷州半岛和广西南部;北达秦岭和淮河以南,具有重要的经济价值和生态地位<sup>[4]</sup>。目前,有关学者对森林凋落物的储量及持水特性、分解动态、土壤理化性质的影响及地表糙率系数等研究取得了一定的进展<sup>[5-7]</sup>。有关学者探讨了湖北不同演替阶段马尾松凋落物储量及持水特性以及鼎湖山马尾松针叶林及其混交林森林凋落物的持水特性<sup>[7-8]</sup>。然而,有关贵阳地区不同林龄马尾松林凋落物储量及持水特性的研究尚鲜为报道。笔者通过对贵州省贵阳市花溪区孟关林场不同林龄马尾松林凋落物储量及持水特性的研究,旨在为该区域马尾松人工林的生态管理和保护利用提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于贵州省贵阳市花溪区孟关乡孟关林场(东经 106°44′6.91″—30″,北纬 26°22′7.27″—1.59″),该研究区属于亚热带季风气候,林区海拔 1 100~1 300 m,属于黔中山原地貌,土壤类型主要为黄壤。林区坡度 15°~30°,年均气温 15℃,无霜期 276 d 左右,

年均降雨量 1 085 mm 左右。气温及降水量年际变化如图 1 所示。

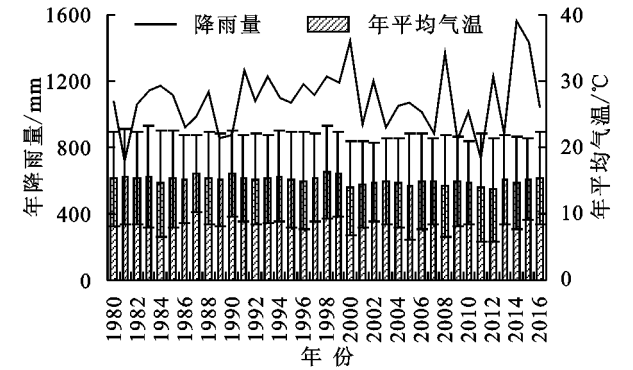


图 1 研究区 1980—2016 年年降雨量与年平均气温变化

1.2 研究方法

1.2.1 样方设计与样品采集 本研究于 2017 年 3—6 月在孟关林场内开展调查试验,研究设置以林窗为对照,利用时空替代法选取林龄分别为幼龄林、中龄林、成熟林和过熟林的 4 个马尾松人工林调查样地。每个样地设置 1 个 20 m×20 m 调查样方,在每个样方内随机选取 6 个 0.5 m×0.5 m 的凋落物调查样方,凋落物样品按照未分解层、半分解层进行采集,将样品带回实验室进行生物量测定和持水能力等分析,4 个不同林龄马尾松调查样地和林窗的基本概况如表 1 所示。

表 1 不同林龄马尾松调查样地基本概况

林龄	经纬度	坡向	坡位	坡度/ (°)	海拔/ m	密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	胸径/ cm	平均高度/ m	郁闭度/ %
幼龄林	106°44′6.98″E, 26°23′1.52″N	半阴坡	坡顶	15	1244	3850	9.38	8.65	95
中龄林	106°44′7.22″E, 26°23′1.31″N	半阴坡	坡下	25	1129	1300	19.80	18.16	89
成熟林	106°44′8.84″E, 26°23′0.56″N	半阴坡	坡上	24	1227	625	29.80	21.28	78
过熟林	106°44′9.30″E, 26°22′7.27″N	半阴坡	坡顶	15	1239	375	37.12	20.57	75
林窗	106°44′6.91″E, 26°23′1.59″N	半阴坡	坡中	27	1154				

1.2.2 凋落物现存量调查 将已称鲜重的凋落物样品用纸袋分袋包装,放入 80℃恒温箱中烘 24 h 以上至恒重,将烘干的凋落物样品分别放入孔径为 0.2 mm 规格为 25 cm×35 cm 尼龙网袋中,用精度为 0.01 g 的电子天平称量凋落物样品的干重,最后换算成 1 hm<sup>2</sup> 的凋落物储量。

1.2.3 凋落物持水性和吸水特性的测定 将网袋中烘干后的凋落物完全浸没于水中(室温 25℃,),等待分别浸水时间 0.25,0.5,1,2,4,8,24 h 后提起静置至凋落物不再滴水,置于精度为 0.01 g 的电子天平

上称重,然后计算不同浸水时间凋落物的持水量、持水率和吸水速率。

1.2.4 指标计算公式

$$R_w = \frac{M_t - M_d}{M_d} \times 100\%$$
 (1)

$$H_w = M_r \times R_w$$
 (2)

$$R_{max} = \frac{M_{24h} - M_d}{M_d} \times 100\%$$
 (3)

$$R_n = \frac{M_n - M_d}{M_d} \times 100\%$$
 (4)

$$E_h = (0.85R_{max} - R_n) \times M_r$$
 (5)

$$S=\frac{M_t-M_d}{M_d\times t}\tag{6}$$

式中： $R_w$ 为持水率(%)； $M_t$ 为浸水 $t$ 时间后凋落物重(g)； $t$ 取值为0.25,0.5,1,2,4,8,24 h； $M_d$ 为凋落物干重(g)； $H_w$ 为持水量( $\text{t}/\text{hm}^2$ )； $M_t$ 为凋落物现存量( $\text{t}/\text{hm}^2$ )； $R_{\max}$ 为最大持水率(%)； $M_{24\text{h}}$ 为浸水24 h凋落物湿重(g)； $R_n$ 为自然持水率(%)； $M_n$ 为凋落物鲜重(g)； $E_h$ 为有效拦蓄量( $\text{t}/\text{hm}^2$ )； $S$ 为吸水速率 $[\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})]$ ；公式(5)中0.85为比例系数，一般认为，当降雨量达到20~30 mm以后，不管植被类型如何，凋落物的实际持水率约为最大持水率的85%，因此用 $0.85R_{\max}$ 表示凋落物的实际持水率<sup>[7]</sup>。

1.2.5 数据统计 数据的汇总使用 Excel 2010, 数据处理使用 SPSS 22.0, 作图使用 Sigmaplot 10, 使用 SPSS 22.0 进行单因素方差分析、LSD 检验和 Pearson 相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同林龄马尾松凋落物厚度

凋落物层的厚度可以反映凋落物储量的大小。由图 2 可知，凋落物厚度随林龄的变化呈现单峰的趋势。在一定时间内，不同林龄的凋落物厚度随林龄的增加而增加，成熟林最大，为 5.63 cm，之后随着林龄的增加厚度减小，过熟林凋落物厚度为 4.39 cm。半分解凋落物的厚度随林龄的变化趋势同凋落物厚度变化趋势一致。不同林龄马尾松林凋落物厚度组间差异极显著( $p<0.01$ )。

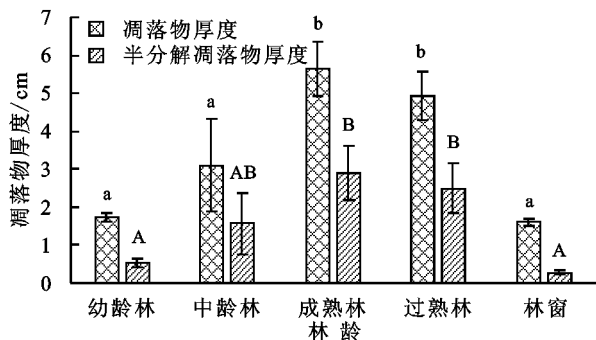


图 2 不同林龄马尾松林凋落物厚度

### 2.2 不同林龄马尾松凋落物储量

凋落物储量主要取决于凋落物的形成量、凋落物的分解速度和积累时间，此外，马尾松林下植物多样性和所处的气候条件对凋落物储量也具有一定程度的影响<sup>[9]</sup>。由表 2 可知，随着林龄的增加，不同林龄马尾松凋落物储量之间差异显著( $p<0.05$ )，随着林龄变化总体呈现出先增后减的趋势，具体表现为成熟林( $35.29\text{ t}/\text{hm}^2$ )>过熟林( $29.18\text{ t}/\text{hm}^2$ )>

中龄林( $20.00\text{ t}/\text{hm}^2$ )>幼龄林( $10.19\text{ t}/\text{hm}^2$ )。表明随着林龄的增加，不同马尾松林龄阶段凋落物的形成量和分解量之间的动态关系存在差异，这也是不同林龄马尾松群落的密度、个体生长能力强弱、土壤含水量、小气候环境和微生物群落等综合作用的结果<sup>[6]</sup>。在凋落物组成成分中，各林龄凋落物的半分解量差异显著( $p<0.05$ )，中龄林、成熟林和过熟林的未分解存量与半分解存量之间差异显著( $p<0.05$ )，且各林龄阶段的半分解量均大于未分解量，尤其在中龄林、成熟林和过熟林中，半分解量远大于未分解量。

表 2 不同林龄马尾松凋落物储量  $\text{t}/\text{hm}^2$

林龄	总现存量	未分解存量	半分解存量
幼龄林	10.19±3.68a	4.78±1.35a	5.42±2.37a
中龄林	20.00±2.98b	4.87±1.00a*	15.13±3.00b**
成熟林	35.29±6.62c	8.42±2.08a*	26.88±6.87c*
过熟林	29.18±6.57c	7.92±2.74a*	21.26±5.50bc
林窗	8.28±2.75a		

注：同一列数据后面不同的小写字母表示不同林龄马尾松林凋落物储量达到显著水平( $p<0.05$ )，同一行数据后面的\*表示同一林龄马尾松林凋落物未分解存量与半分解存量之间达到显著水平( $p<0.05$ )，\*\*表示达到极显著水平( $p<0.01$ )。

### 2.3 不同林龄马尾松林凋落物持水特性

2.3.1 不同林龄马尾松林凋落物的持水量 由图 3 可知，马尾松林凋落物持水量随浸水时间的增加而增加，在浸水时间的前 1 h 内，持水量增加最快，在浸水时间 8~24 h 内，凋落物持水量逐渐趋于饱和状态。在浸水试验中，马尾松林凋落物最大持水量随着林龄变化呈现出先增加后减小的趋势，表现为成熟林( $84.48\text{ t}/\text{hm}^2$ )>过熟林( $62.01\text{ t}/\text{hm}^2$ )>中龄林( $33.87\text{ t}/\text{hm}^2$ )>幼龄林( $12.33\text{ t}/\text{hm}^2$ )，林窗( $8.28\text{ t}/\text{hm}^2$ )。表明在一定林龄阶段内，马尾松林的持水能力逐渐增强，到成熟林达到最大，之后持水能力开始下降。不同林龄马尾松凋落物最大持水量与储量变化趋势一致，说明持水量与储量具有一定的正相关关系，成熟林阶段凋落物储量和持水量最大。

2.3.2 不同林龄马尾松林凋落物的持水率 持水率是表征凋落物持水能力强弱的指标之一。由图 4 可知，在一定时间内，4 个林龄阶段的马尾松林凋落物持水率随浸水时间的增加而增加，最大持水率表现为成熟林( $239.49\%$ )>中龄林( $169.80\%$ )>过熟林( $157.24\%$ )>幼龄林( $120.38\%$ )>林窗( $87.16\%$ )。在浸水时间的前 0.25 h 时间内，持水率增加得最快，在浸水时间 8~24 h 内，凋落物持水率逐渐趋于饱和

状态。说明演替的正向进行,马尾松林的持水能力逐渐增强,到成熟林达到最大,之后持水能力开始下降。

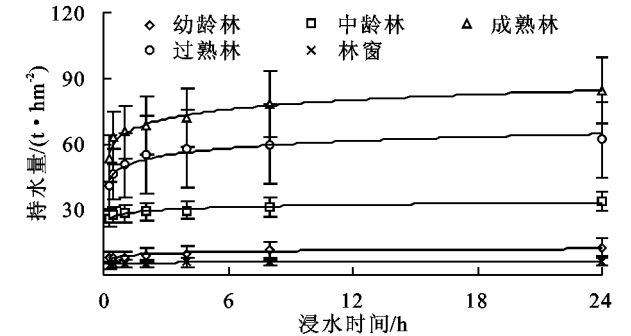


图 3 不同林龄马尾松群落凋落物持水量与浸水时间的变化特征

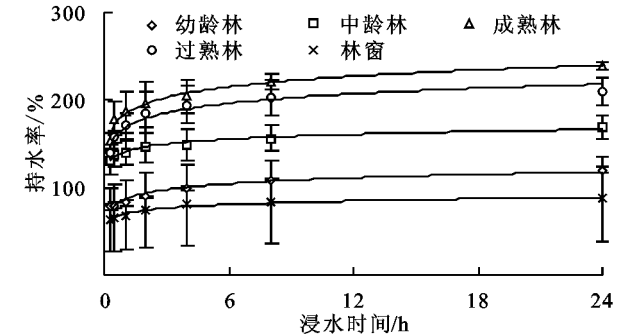


图 4 不同林龄马尾松凋落物持水率

2.3.3 不同林龄马尾松林凋落物的吸水速率 吸水速率也是指示凋落物持水能力强弱的重要指标之一。凋落物的吸水速率越快,在开始降雨阶段,凋落物吸持的雨水量就越大,就能够有效防止形成地表径流,减少不必要的水土流失<sup>[10]</sup>。如图 5 所示,不同林龄马尾松林凋落物的吸水速率随时间呈幂函数曲线降低,4 h 后吸水速率下降趋于平缓,最大吸水速率表现为成熟林 $[6.09 \text{ g}/(\text{g} \cdot \text{h})]>$ 过熟林 $[5.58 \text{ g}/(\text{g} \cdot \text{h})]>$ 中龄林 $[5.22 \text{ g}/(\text{g} \cdot \text{h})]>$ 幼年林 $[3.13 \text{ g}/(\text{g} \cdot \text{h})]>$ 林窗 $[2.52 \text{ g}/(\text{g} \cdot \text{h})]$ 。结果表明:不同演替阶段马尾松凋落物对水的吸收保持作用主要集中在前 0.25 h 时间段内,说明马尾松凋落物对于快速吸收短时间的急速降雨和防止地表径流的产生具有积极作用。

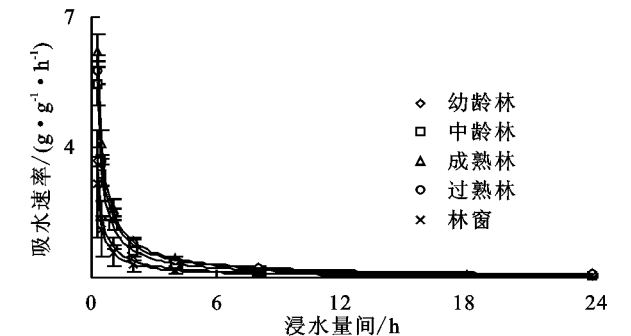
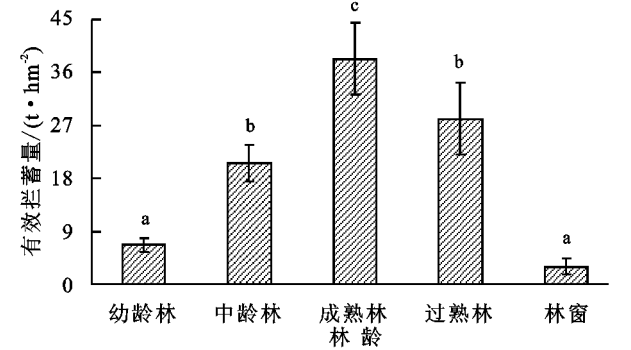


图 5 不同林龄马尾松凋落物吸水速率

2.4 不同林龄马尾松凋落物的有效拦蓄量

最大持水量和最大持水率来表示凋落物对降雨的拦截作用会比实际情况高。一般认为,当降雨量达到 20~30 mm 以后,不管植被类型如何,它的凋落物的实际持水率约为最大持水率的 85%<sup>[11]</sup>。用有效拦蓄量表示凋落物对降雨的拦截作用会比较贴合实际。不同林龄马尾松林凋落物的有效拦蓄量的值介于 6.71~38.31 t/hm<sup>2</sup> 之间(图 6)。最大值在成熟林,最小值在幼龄林。各林龄演替阶段中,成熟林与中龄林、近熟林、过熟林、幼龄林之间的有效拦蓄量存在显著差异( $p<0.05$ )。结果表明,随着演替阶段的进行,在一定时间内,有效拦蓄量随演替阶段进行而增加,成熟林时达到最大值,之后开始下降。



注:同一列数据后面不同的小写字母表示不同林龄马尾松林凋落物有效拦蓄量达到显著水平( $p<0.05$ )。

图 6 不同林龄马尾松凋落物的有效拦蓄量

2.5 相关性分析

2.5.1 变量相关性 使用 SPSS 22.0 对最大持水率、凋落物储量、最大持水量和有效拦蓄量进行 Pearson 相关性分析,得到的结果见表 3。由表 3 可知,储量与最大持水量、有效拦蓄量之间达到极显著正相关关系( $p<0.01$ );最大持水量与有效拦蓄量之间达到了显著正相关关系( $p<0.05$ )。储量与最大持水量和有效拦蓄量之间关系密切,储量越大,最大持水量和有效拦蓄量越大,凋落物持水能力越强。

2.5.2 数据拟合性 由表 4 可知,将不同发育阶段马尾松林凋落物持水量  $H_w$  与浸水时间  $t$  进行对数方程  $H_w = A \ln t + B$  ( $A, B$  为方程的系数)拟合,得到每个演替阶段的方程式及  $R^2$  的值,每个演替阶段拟合方程的  $R^2$  值均大于 0.94,由此可以认为,持水量  $H_w$  与时间  $t$  具有很好的对数相关性。再将不同发育阶段马尾松林凋落物吸水速率  $S$  与吸水时间  $t$  进行幂函数  $S = At^{-B}$  ( $A, B$  为方程的系数)拟合,得到各演替阶段马尾松凋落物吸水速率与浸水时间的方程,每个方程的  $R^2$  值都大于 0.99,再次验证了凋落物吸水速率与浸水时间具有很好的幂函数相关性。

表 3 马尾松林凋落物持水能力与环境因子间相关性

项 目	储量	最大持水量	有效拦蓄量	坡度	海拔	株密度	胸径	平均高度	郁闭度
最大持水率	0.989**	0.980**	0.992**	−0.159	0.380	−0.912	0.886	0.935	−0.925
储量		0.996**	0.995**	−0.079	0.354	−0.904	0.887	0.926	−0.929
最大持水量			0.989*	−0.076	0.400	−0.854	0.853	0.882	−0.911
有效拦蓄量				−0.040	0.309	−0.898	0.840	0.931	−0.883
坡度					−0.795	−0.403	0.049	0.488	−0.057
海拔						0.188	0.164	−0.212	−0.258
株密度							−0.926	−0.993**	0.900
胸径								0.894	−0.988*
平均高度									−0.880

注：\* 表示两相关变量之间相关性达到了显著水平 ( $p<0.05$ )，\*\* 表示两相关变量之间相关性达到了极显著水平 ( $p<0.01$ )。

表 4 不同林龄马尾松林凋落物持水特性与浸水时间的拟合性

林 龄	持水量与浸水时间的相关性		吸水速率与浸水时间的相关性	
	方程	$R^2$	方程	$R^2$
幼龄林	$C=1.0379\ln t+8.779$	$R^2=0.9526$	$S=0.8612t^{-0.898}$	$R^2=0.9995$
中龄林	$C=1.6131\ln t+28.092$	$R^2=0.9692$	$S=1.4087t^{-0.946}$	$R^2=0.9999$
成熟林	$C=6.2375\ln t+64.57$	$R^2=0.9755$	$S=1.8232t^{-0.91}$	$R^2=0.9995$
过熟林	$C=4.6869\ln t+49.64$	$R^2=0.9455$	$S=1.6691t^{-0.911}$	$R^2=0.9993$
林窗	$C=0.4316\ln t+5.2423$	$R^2=0.9696$	$S=0.6999t^{-0.922}$	$R^2=0.9997$

3 讨论

3.1 不同林龄马尾松林凋落物储量

孟关林场不同林龄马尾松的凋落物储量存在显著差异 ( $p<0.05$ )，凋落物储量范围为 10.19~35.29 t/hm<sup>2</sup>，比同地区其他林分储量 (1.8~3.3 t/hm<sup>2</sup>) 高<sup>[12]</sup>。这种储量变化规律与不同林龄秃杉凋落物储量的规律以及不同演替阶段针阔混交林凋落物持水特性的变化趋势一致<sup>[13-14]</sup>。此外，马尾松凋落物的储量高于阔叶林和落叶林，这与马尾松的松针分解比较困难有关<sup>[15]</sup>。这一结论也说明马尾松纯林凋落物储量比混交林储量<sup>[7]</sup>。成熟林凋落物的储量大于过熟林，这与有关学者研究本区域马尾松凋落物储量变化趋势一致<sup>[16]</sup>，说明在演替过程中，当演替到成熟林时，马尾松林结构和功能比较完善，凋落物的输入量和积累量处于最佳时期。到过熟林阶段，可能的原因是马尾松林的林龄、密度、冠幅和所处小气候的不同，促进了马尾松凋落物的输入量减小，分解速度较快，所以，过熟林的储量小于成熟林。

3.2 不同林龄马尾松凋落物持水能力

最大持水量和最大持水率是表征凋落物持水特性的重要指标之一<sup>[7]</sup>。最大持水量和最大持水率最大的都是成熟林，最小的为幼龄林，且最大持水量和最大持水率随浸水时间的变化规律都符合对数方程  $H_w=A\ln t$

+B(A,B 为方程的系数)。到过熟林后，凋落物持水能力开始下降，说明随着演替进行，马尾松纯林逐渐变为混交林之后，持水能力也开始下降，这与研究鼎湖山 3 种不同演替阶段森林凋落物持水特性得出的最大持水率规律：马尾松针叶林>马尾松针阔混交林>季风常绿阔叶林的结论一致<sup>[7]</sup>。由表 3 可知，最大持水量与储量的相关性达到极显著水平，说明最大持水量与储量的动态变化密不可分，储量越大，最大持水量越大，凋落物持水能力越强。最大持水率与储量、最大持水量都存在相关关系，但是未到达显著水平。

不同林龄马尾松林凋落物的吸水速率随浸水时间呈现幂函数  $S=At^{-B}$  (A,B 为方程的系数) 递减。在开始浸水的 2 h 内，凋落物吸水速率最快，特别是前 0.25~0.5 h 内速率最快。到浸水时间 4 h 以后，凋落物吸水速率逐渐趋于平缓，浸水时间 24 h 后，凋落物的吸水趋于饱和，这与研究华北落叶松人工林凋落物储量及其持水特性得出的结论一致<sup>[17]</sup>。不同林龄马尾松凋落物最大吸水速率表现为成熟林[6.09 g/(g·h)]>过熟林[5.58 g/(g·h)]>中龄林[5.22 g/(g·h)]>幼龄林[3.13 g/(g·h)]。这一结论与现有研究结论一致<sup>[16]</sup>，说明在演替后期，马尾松混交林的持水能力开始下降。

有效拦蓄量是表征凋落物持水能力的重要指标。本次试验中，不同林龄马尾松的有效拦蓄量不同，表现

为成熟林(29.88 t/hm<sup>2</sup>)最大,幼龄林(5.47 t/hm<sup>2</sup>)最小。本试验中有效拦蓄大于贺兰山4种典型林型凋落物的有效拦蓄量<sup>[18]</sup>。

## 4 结论

不同林龄马尾松凋落物输入量大,分解速率低,致使马尾松凋落物储量较其他林分凋落物大。不同林龄马尾松凋落物储量均呈现出显著性差异( $p < 0.05$ ),其中,成熟林最大,幼龄林最小。

不同林龄马尾松林的最大持水率、最大持水量和有效拦蓄量表现出显著性差异( $p < 0.05$ ),具体表现为成熟林>过熟林>中龄林>幼龄林。最大持水量和最大持水率随浸水时间的变化都较好地符合对数方程  $H_w = A \ln t + B$  ( $A, B$  为方程的系数),吸水速率与浸水时间的变化较好地服从幂函数  $S = At^{-B}$  变化。

所以,不同林龄马尾松人工林中,成熟林生态水文功能最佳。

### 参考文献:

- [1] Eppinga M B, Molofsky J. Eco-evolutionary litter feedback as a driver of exotic plant invasion[J]. Perspectives in Plant Ecology Evolution & Systematics, 2013, 15(1):20-31.
- [2] Freschet G T, Cornelissen J H C. Linking litter decomposition of above- and below-ground organs to plant-soil feedbacks worldwide[J]. Journal of Ecology, 2013, 101(4):943-952.
- [3] 樊登星,余新晓,岳永杰等.北京西山不同林分枯落物层持水特性研究[J].北京林业大学学报,2008,30(S2):177-181.
- [4] 周玮,丁贵杰.贵州省马尾松人工林生物量及其分布格局研究[J].贵州林业科技,2016,44(2):1-7.
- [5] 郭汉清,韩有志,白秀梅,等.不同水文枯落物水文效应和地表糙率系数研究[J].水土保持学报,2010,2(24):179-183.
- [6] 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):98-102.
- [7] 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.
- [8] 贾秀红,毕俊亮,周志翔,等.鄂中低丘区主要纯林凋落物持水与土壤贮水能力研究[J].华中农业大学学报,2013,32(3):39-44.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 刘尚华,冯朝阳,吕世海,等.京西百花山区6种植物群落凋落物持水性能研究[J].水土保持学报,2007,21(6):179-182.
- [12] 曾昭霞,刘孝利,王克林,等.桂西北喀斯特区原生林与次生林凋落物储量及持水特性[J].生态学杂志,2011,30(7):1429-1434.
- [13] 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.
- [14] 何斌,黄承标,韦家国,等.不同林龄秃杉人工林凋落物储量及其持水特性[J].东北林业大学学报,2009,37(3):44-46.
- [15] 李正才,徐德应,杨校生,等.北亚热带6种森林类型凋落物分解过程中有机碳动态变化[J].林业科学研究,2008,21(5):675-680.
- [16] 彭云,丁贵杰.不同林龄马尾松林枯落物储量及其持水性能[J].南京林业大学学报:自然科学版,2008,32(4):43-46.
- [17] 张愿,马长明.华北落叶松人工林凋落物储量及其持水特性[J].林业资源管理,2014(6):63-68.
- [18] 赵晓春,刘建军,任军辉,等.贺兰山4种典型森林类型凋落物持水性能研究[J].水土保持研究,2011,18(2):107-111.