

# 抚育间伐对麻栎次生林枯落物持水性的影响

唐禾<sup>1</sup>, 陈永华<sup>2</sup>, 张建国<sup>2</sup>, 薛文艳<sup>1</sup>, 张文辉<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 延安市黄龙山林业局, 陕西 黄龙 715700)

**摘要:**抚育间伐作为森林经营的一项重要手段,能够影响枯落物持水性能。以桥山林区麻栎次生林为对象,通过典型取样法、烘干法、浸泡法,探讨了不同间伐强度(未间伐、间伐15%—轻度间伐、间伐25%—中度间伐、间伐35%—重度间伐)对样地内枯落物持水效应的影响。结果表明:(1)间伐使枯落物总储量减少,随着间伐强度提高分解层储量先增多后减少,中度间伐时最多(3.833 t/hm<sup>2</sup>),轻度间伐次之(21.838 t/hm<sup>2</sup>);(2)轻度间伐下枯落物最大持水量最高(7.60 mm),重度间伐强度下最小(6.21 mm);(3)轻度间伐下枯落物总有效拦蓄量及分解层有效拦蓄量都最大,分别为56.79,38.56 t/hm<sup>2</sup>,未分解层有效拦蓄量为18.21 t/hm<sup>2</sup>,仅次于未间伐样地(22.59 t/hm<sup>2</sup>);(4)不同间伐强度下枯落物吸水速率随浸水时间的增加逐渐减小,且两者均显著相关,轻度间伐强度下吸水速率均最大。以上结果表明,轻度间伐能提高麻栎次生林枯落物持水性能,可为桥山林区麻栎次生林森林抚育间伐提供参考。

**关键词:**枯落物; 持水性能; 麻栎; 抚育间伐; 有效拦蓄量

中图分类号:S715

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)04-0104-06

## Effects of Thinning on Litter Water Holding Capacity of *Quercus acutissima* Secondary Forest

TANG He<sup>1</sup>, CHEN Yonghua<sup>2</sup>, ZHANG Jianguo<sup>2</sup>, XUE Wenyan<sup>1</sup>, ZHANG Wenhui<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Huanglong Forest Bureau of Huanglongshan of Yan'an, Huanglong, Shaanxi 715700, China)

**Abstract:** As an important means of forest management, thinning can affect the water holding capacity of litter. In order to evaluate the relationship between thinning intensity and the water-holding capacity of litter layer, the natural secondary *Quercus acutissima* of Qiaoshan Mountains in the south area of the Loess Plateau was used as our study area. Three plots with thinning intensities of 15%, 25% and 35% were established and plot that have not been thinned was selected as the control check (CK). The typical sampling method, drying method, soaking method were used to examine the effect of thinning intensity on the water-holding capacity of litter layer. The results showed as the follows. (1) the thinning reduced the total litter reserves, with the increase of the thinning intensity, the amount of the decomposed layer increased firstly and then decreased, the middle thinning (3.833 t/hm<sup>2</sup>) being the most and following the light thinning (21.838 t/hm<sup>2</sup>); (2) under light thinning, the maximum water-holding capacity of the litter was the highest (7.60 mm) and it was the lowest under the heavy thinning (6.21 mm); (3) light thinning plot saw the highest number of modified interception in litter layer (56.79 t/hm<sup>2</sup>) and in decomposed layer (38.56 t/hm<sup>2</sup>) and the second highest number in un-decomposed layer (18.21 t/hm<sup>2</sup>); (4) the water-absorbing rate was significantly correlated in all three thinning plots. In conclusion, light thinning can improve water-holding capacity of the natural secondary *Quercus acutissima*. The conclusion can be used as reference for the close-to-nature management of secondary forest of *Quercus acutissima* in Qiaoshan forest zone.

**Keywords:** litter; water-holding capacity; *Quercus acutissima*; tending thinning; modified interception

森林具有极强的涵养水源能力,通过林冠层、枯落物层、土壤层拦蓄和涵养水源<sup>[1]</sup>。枯落物作为森林结构的重要组成部分,对生态系统的环境、土壤和植

被均有一定的影响,起着不可代替的生态学作用<sup>[2]</sup>。森林枯落物一方面可以增加地表的粗糙度,减少地表径流,促进土壤水分下渗,减缓降雨对表层土壤的

冲刷和土壤水分蒸发,防止水土流失,对涵养水源和保持水土具有重要作用<sup>[3]</sup>;同时在氧化分解后还能增加土壤有机质,为土壤生物和森林植物生长提供养分和能量,促进生态系统物质循环<sup>[4-5]</sup>。研究枯落物层水文效应对于探讨森林生态系统的水文循环和水量平衡具有重要意义<sup>[6]</sup>。

桥山林区作为陕西省五大国有林区之一,地处黄河中游黄土高原区,该区域水土流失极为严重,如何发挥森林保持水土和涵养水源的作用是桥山林区营林工作的重心。麻栎作为桥山林区的主要建群种之一,对当地的水源涵养、水土保持具有重要作用<sup>[7]</sup>。因此,提高桥山林区麻栎次生林的持水性能对提高该林区水土保持能力具有显著作用。目前,国内外学者对枯落物做了大量研究,主要集中在持水性<sup>[8-10]</sup>、分解<sup>[11-13]</sup>、储量<sup>[14-16]</sup>等方面。但关于桥山林区麻栎(*Quercus acutissima*)次生林枯落物持水性能的研究还鲜有报道。研究证明辽东栎(*Quercus wutaishanica*)林枯落物持水效应受间伐强度的影响,轻度间伐提高了枯落物持水性,对保护水土流失有重要意义<sup>[17]</sup>。因此,本文以桥山林场麻栎次生林枯落物为研究对象,研究间伐对麻栎林分枯落物持水效应的影响,旨在为该林区麻栎次生林的森林抚育及水源涵养提供理论与实践依据。

1 研究区概况

研究区位于陕西省延安市桥山林业局双龙林场,林区地理位置为 108°31'—109°11'E,35°30'—35°50'N,桥山林区位于鄂尔多斯台地南缘,海拔 800~1 700 m,属暖温带气候,平均气温 3.42~11.90℃,最高气温 38℃,最低气温 -23℃,7 月平均气温最高,为 21.9℃,1 月平均气温最低,为 -4.7℃,4 月平均气温为 11.1℃,10 月平均气温为 10.0℃。年平均降水量 677.4 mm,降水量年际间差异较大,且呈明显的季节性变化。降雨量最大的年份为 1 037.2 mm,降雨量最小的年份为 431.7 mm。林区夏季降水比较集中,占全年的 51%,秋季占 25%,春季占 18%,冬季占 6%。年日照时间 2 528 h,无霜期 190~225 d,主要土壤类型为森林褐土。该林区共有植物 6 纲 30 目 85 科,200 属 750 多种。乔木层植被主要有:麻栎、辽东栎、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus daviana*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、漆(*Toxicodendron vernicifluum*)、杜梨(*Pyrus betuli-folia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等,灌木层植被主要包括:南蛇藤

(*Celastrus orbiculatus*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、狼牙刺(*Sophora davidii*)等,草本植物主要有:白茅(*Imperata cylindrica*)、苔草(*Carex spp.*)、披碱草(*Elymus dahuricus*)、茜草(*Rubia cordifolia*)等。

2 研究方法

2.1 样地的设置

对研究区麻栎林分进行充分踏查后,采用典型取样,设置 30 m×20 m 麻栎纯林样地 12 块。在 2012 年,以近自然经营理论作为间伐指导,以林分储量作为间伐标准,设置 35%间伐样地(强度间伐)、25%间伐样地(中度间伐)、15%间伐样地(轻度间伐)和未间伐样地(对照)各 3 块。2017 年 8 月,对样地进行调查取样,样地刚间伐完和伐后 5 a 基本信息见表 1。

表 1 林分作业前后麻栎次生林概况

处理	间伐前		间伐后	
	平均树高/m	平均胸径/cm	平均树高/m	平均胸径/cm
CK	10.7±0.98	14.9±0.74	12.5±1.11	17.6±0.95
T <sub>15</sub>	10.3±0.78	15.1±0.87	12.2±0.60	18.5±1.25
T <sub>25</sub>	10.8±1.35	14.2±0.55	12.8±0.91	17.5±0.59
T <sub>35</sub>	10.6±0.60	15.0±1.27	12.1±0.31	18.4±1.06

注:CK 为对照;T<sub>15</sub>为轻度间伐;T<sub>25</sub>为中度间伐;T<sub>35</sub>为重度间伐,下表同。

2.2 枯落物储量测定

在各样地的 4 个角和中间选取 5 个 1 m×1 m 的小样方,分别测量未分解层和分解层(包括半分解层和全分解层)厚度,并按分解层和未分解层收集枯落物并现场称重,带回实验室后在 85℃下烘干至恒重,计算枯落物储量和含水率<sup>[18]</sup>。

2.3 枯落物持水性测定

在各样地的 4 个角和中间选取 5 个 0.3 m×0.2 m 的小样方,在不破坏枯落物自然结构的条件下收集枯落物于纸盒中,带回实验室在 85℃下烘干。将烘干的枯落物按分解层与未分解层分别放入 100 目土壤筛中,测定其初始重量后完全浸水,分别在 0.25,0.5,1,2,4,8,12,24 h 时取出,放置于室内,至无水滴落时测定其重量,用于计算枯落物各时段的吸水速率、吸水量以及最大持水量。一般枯落物在浸水 24 h 后达到最大持水量<sup>[19]</sup>。

2.4 枯落物含水率及有效拦蓄量的计算

枯落物含水率计算公式为:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\%$$

(1)

式中:W 为枯落物含水率(%);m<sub>1</sub> 为枯落物自然状

态下重量(g); $m_0$  为枯落物干重(g)。

由于林区通常处于坡地,落到枯落物层的雨水只有一部分被拦蓄,另一部分很快形成地表径流流走。所以用最大持水量来计算枯落物层的拦蓄能力,会使结果偏大,因此实际应用中常用有效拦蓄量来估算枯落物对降雨的实际拦蓄能力<sup>[20]</sup>。当降雨量达到 20~30 mm 时,枯落物的实际持水率约为最大持水率的 85%<sup>[21]</sup>,因此枯落物有效拦蓄量计算公式为:

$$R=(0.85Q_m-W)\times M \tag{2}$$

式中: $R$  为有效拦蓄量( $t/hm^2$ ); $Q_m$  为最大持水率(%); $W$  为自然含水量(%); $M$  为枯落物储量( $t/hm^2$ )。

2.5 数据统计与分析

本研究采用 Microsoft Excel 2016 处理试验数据

并作图,用 SPSS 22.0 软件作单因素方差分析( $p<0.05$ ),并进行 LSD 多重比较,检验其差异显著性。

3 结果与分析

3.1 不同间伐强度下枯落物厚度和储量

由表 2 可知,CK 样地中枯落物未分解层厚度最大,且与中度间伐和重度间伐之间存在显著性差异,重度间伐未分解层厚度最小,与 CK、轻度间伐和中度间伐之间均具有显著性差异;分解层厚度顺序为:中度间伐>轻度间伐>CK>重度间伐,其中重度间伐与 CK、轻度间伐和中度间伐之间均有显著性差异,CK、轻度间伐和中度间伐相互之间没有显著性差异。

表 2 不同间伐强度下枯落物储量

处理	未分解层			分解层			总储量/ ( $t\cdot hm^{-2}$ )
	厚度/ cm	储量/ ( $t\cdot hm^{-2}$ )	储量 比例/%	厚度/ cm	储量/ ( $t\cdot hm^{-2}$ )	储量 比例/%	
CK	2.633±0.115a	5.373±0.177a	24.40	3.430±0.115ab	16.651±0.342ab	75.60	22.024±0.091a
T <sub>15</sub>	2.487±0.289a	4.926±0.113a	22.56	3.500±0.221ab	16.912±0.336ab	77.44	21.838±0.330a
T <sub>25</sub>	2.167±0.152b	4.167±0.272b	19.15	3.833±0.153a	17.595±0.581a	80.85	21.762±0.688a
T <sub>35</sub>	1.700±0.239c	3.574±0.196c	18.04	3.300±0.200b	16.212±0.196b	81.96	19.809±0.400b

注:同列不同字母表示差异显著( $p<0.05$ )。

枯落物未分解层储量随着间伐强度增大呈减小的趋势,其中轻度间伐与 CK 没有显著性差异,与中度间伐和重度间伐存在显著性差异,CK、中度间伐和重度间伐三者相互存在显著性差异。分解层储量随着间伐强度增大呈先增大后降低的趋势,中度间伐下分解层储量最大,其次是轻度间伐,轻度间伐和中度间伐分别较对照增加 1.57%和 5.67%,重度间伐强度下分解层储量最小,较对照减小 2.64%,且与 CK、轻度间伐和中度间伐存在显著性差异。分解层储量顺序为:中度间伐>轻度间伐>CK>重度间伐。

各间伐强度下枯落物总储量大小顺序为:CK>轻度间伐>中度间伐>重度间伐,其中重度间伐与 CK、轻度间伐和中度间伐都存在显著性差异,轻度间伐、中度间伐和中度间伐分别较对照减少 0.84%,1.19%和 10.06%。

3.2 不同间伐强度下枯落物持水能力

3.2.1 不同间伐强度下枯落物持水量 由表 3 可知,随着浸水时间增加,4 种间伐下枯落物持水量都逐渐增加,但增速逐渐减慢。比较不同间伐枯落物最大持水量可知,轻度间伐下枯落物未分解层最大持水量最高,较对照增加了 6.75%,重度间伐下枯落物未分解层最大持水量最低,较对照减小了 28.69%,表现为:轻度间伐>CK>中度间伐>重度间伐;枯落物

分解层最大持水量表现为:中度间伐>轻度间伐>CK>重度间伐;且 4 种间伐下枯落物未分解层最大持水量与分解层最大持水量相比,均为分解层最大持水量大于未分解层最大持水量。枯落物总持水量表现为:轻度间伐>中度间伐>CK>重度间伐,其中轻度间伐较对照增加了 5.56%,中度间伐增加了 2.36%,重度间伐则减少了 13.75%。

3.2.2 不同间伐强度下枯落物持水量与时间的关系 对 4 种不同间伐强度样地的枯落物持水数据进行回归分析发现,枯落物持水量与浸泡时间存在对数函数的关系:

$$W_h=a\ln t+b \tag{3}$$

式中: $W_h$  为枯落物持水量(mm); $t$  为枯落物浸水时间(h); $a$  为方程回归系数; $b$  为常数。

各间伐强度枯落物持水量与浸泡时间拟合结果见表 4。由表 4 可知,4 种间伐强度下枯落物各层持水量与浸水时间都表现出较好的相关性。由图 1 可以看出,各间伐强度下,枯落物未分解层和分解层持水量在浸水 12 h 时基本均达到最大,浸水 12 h 以后持水量几乎不再增加,各时段枯落物未分解层持水量都表现为:轻度间伐>CK>中度间伐>重度间伐,局部时间段出现波动情况;分解层持水量表现为:中度间伐>轻度间伐>CK>重度间伐。

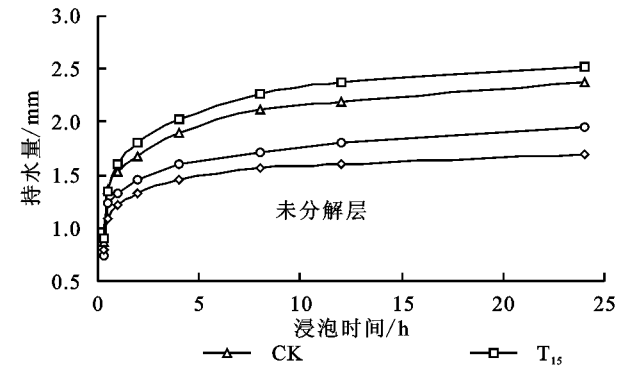
表 3 不同间伐强度下的枯落物持水量

处理	枯落物层	浸水时间/h								总持水量/mm
		0.25	0.5	1	2	4	8	12	24	
CK	未分解层	0.87	1.37	1.53	1.67	1.79	2.11	2.19	2.37	7.20
	分解层	2.32	2.98	3.56	3.77	4.08	4.37	4.54	4.83	
T <sub>15</sub>	未分解层	0.91	1.35	1.61	1.81	2.02	2.26	2.38	2.53	7.60
	分解层	2.35	3.53	3.72	3.99	4.29	4.58	4.78	5.07	
T <sub>25</sub>	未分解层	0.73	1.23	1.33	1.46	1.60	1.72	1.81	1.95	7.37
	分解层	2.40	3.62	3.83	4.15	4.58	5.00	5.23	5.42	
T <sub>35</sub>	未分解层	0.79	1.09	1.26	1.33	1.45	1.56	1.61	1.69	6.21
	分解层	2.14	2.95	3.28	3.56	3.85	4.19	4.36	4.52	

3.2.3 不同间伐强度下枯落物吸水速率与时间的关系 对不同间伐强度下枯落物吸水速率与浸水时间的数据进行回归分析拟合,发现两者存在如下的幂函数关系:

$$V=ct^n \tag{4}$$

式中:V 为枯落物吸水速率(mm/h);t 为吸水时间(h);n 为指数;c 为方程回归系数。由回归分析拟合得到不同间伐强度下吸水速率与浸水时间拟合得到



的回归方程结果见表 5。

表 4 枯落物持水量与浸泡时间关系式

处理	未分解层		分解层	
	关系式	R <sup>2</sup>	关系式	R <sup>2</sup>
CK	y=0.3034lnx+1.4564	0.9695	y=0.521lnx+3.2885	0.9745
T <sub>15</sub>	y=0.3417lnx+1.528	0.9808	y=0.5163lnx+3.537	0.9221
T <sub>25</sub>	y=0.2338lnx+1.2525	0.9329	y=0.6062lnx+3.6919	0.9435
T <sub>35</sub>	y=0.1849lnx+1.1623	0.9603	y=0.4905lnx+3.1316	0.9590

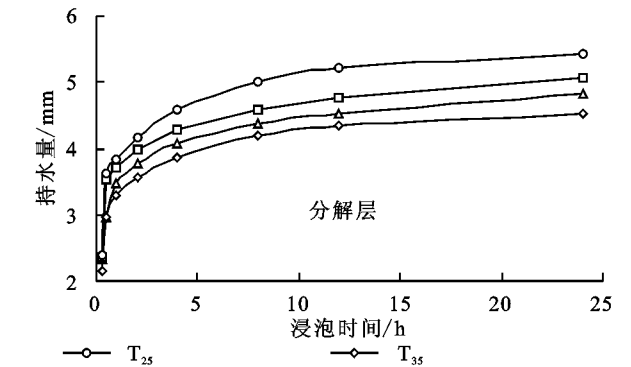


图 1 枯落物持水量与浸水时间的关系

由表 5—6 可知,4 种间伐强度下枯落物吸水速率与浸水时间具有高度的相关性。不同间伐强度下枯落物分解层和未分解层吸水速率都随着浸水时间的增加逐渐减小,在相同浸水时间和间伐强度下,枯落物分解层吸水速率均大于未分解层吸水速率。由图 2 可知,未分解层和分解层前 1 h 吸水速率最大,之后吸水速率急剧下降,8 h 后下降趋势逐渐减缓,12 h 后逐渐停止吸水,这主要是由于随着时间的增加,枯落物吸水逐渐达到饱和的原因。不同间伐强度下枯落物未分解层吸水速率表现为:轻度间伐>CK>重度间伐>中度间伐,局部时间的数据存在波动情况;分解层吸水速率表现为:中度间伐>轻度间伐>CK>重度间伐。

3.3 不同间伐强度枯落物持水性能

由表 7 可知,轻度间伐下枯落物总有效拦蓄量最大,较对照增加 10.59%,重度间伐下枯落物总有效拦蓄量最小,较对照减小 14.2%,说明轻度间伐有利于提高枯落物持水能力,重度间伐不利于枯落物持水;枯落物未分解层含水率随间伐强度增大逐渐减小,变动范围为

17.89%~21.45%,表明间伐不利于枯落物未分解层储水;分解层含水率随着间伐强度增大先增大后减小,表现为:中度间伐>轻度间伐>CK>重度间伐,其中轻度间伐和中度间伐较对照分别增加 5.32%和 9.02%,表明中度间伐和轻度间伐有利于枯落物分解层储水。枯落物未分解层有效拦蓄量随间伐强度增加而减小,表明间伐不利于枯落物未分解层储水;轻度间伐下分解层有效拦蓄量最大,较对照增加 34.07%,重度间伐下分解层有效拦蓄量最小,较对照减小 4.17%,表现为:轻度间伐>中度间伐>CK>重度间伐,表明轻度间伐下枯落物分解层持水能力最强。

表 5 枯落物吸水速率与浸水时间关系式

处理	未分解层		分解层	
	关系式	R <sup>2</sup>	关系式	R <sup>2</sup>
CK	y=1.3935x <sup>-0.808</sup>	0.9936	y=3.2082x <sup>-0.852</sup>	0.9977
T <sub>15</sub>	y=1.4557x <sup>-0.795</sup>	0.9941	y=3.4436x <sup>-0.860</sup>	0.9952
T <sub>25</sub>	y=1.1986x <sup>-0.822</sup>	0.9910	y=3.5800x <sup>-0.845</sup>	0.9952
T <sub>35</sub>	y=1.1310x <sup>-0.850</sup>	0.9967	y=3.0501x <sup>-0.853</sup>	0.9968

表 6 不同间伐强度下的枯落物吸水速率

处理	枯落物层	浸水时间/h							
		0.25 h	0.5 h	1 h	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h
CK	未分解层	3.48	2.74	1.53	0.84	0.47	0.26	0.18	0.10
	分解层	9.28	5.95	3.46	1.89	1.02	0.55	0.38	0.20
T <sub>15</sub>	未分解层	3.64	2.70	1.61	0.91	0.51	0.28	0.20	0.11
	分解层	9.39	7.06	3.72	1.99	1.07	0.57	0.40	0.21
T <sub>25</sub>	未分解层	2.92	2.46	1.33	0.73	0.40	0.215	0.15	0.08
	分解层	9.6	7.25	3.83	2.08	1.15	0.62	0.44	0.23
T <sub>35</sub>	未分解层	3.16	2.18	1.21	0.67	0.36	0.20	0.13	0.07
	分解层	8.56	5.90	3.28	1.78	0.96	0.52	0.36	0.19

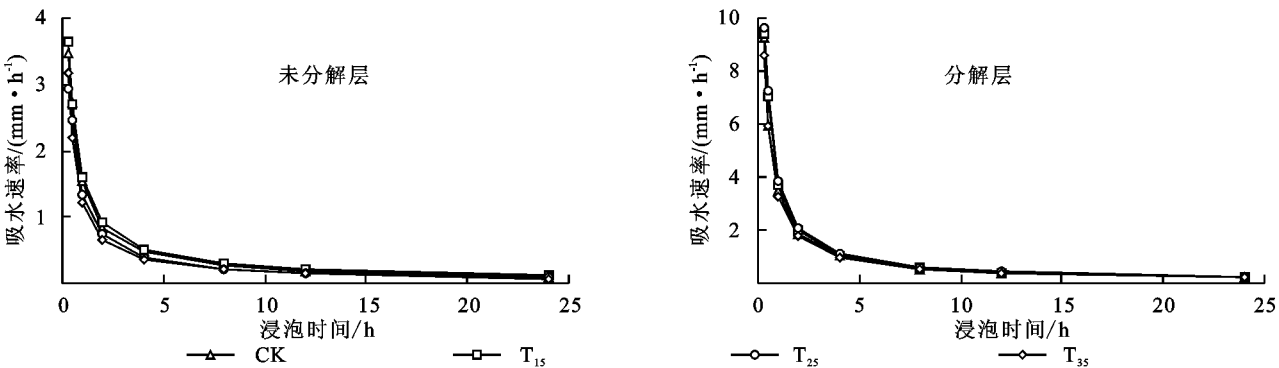


图 2 枯落物吸水速率与浸水时间的关系

表 7 不同间伐强度枯落物持水性能

处理	枯落物层	自然 含水率/%	最大 持水量/mm	总持 水量/mm	有效拦蓄量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	总有效拦蓄量/ (t·hm <sup>-2</sup> )
CK	未分解层	21.45±1.369	2.37±0.211	7.20±0.624	22.59±0.967	51.35±1.652
	分解层	28.39±0.687	4.83±0.703		28.76±1.356	
T <sub>15</sub>	未分解层	20.87±0.671	2.53±0.354	7.60±0.389	18.21±1.221	56.79±2.13
	分解层	29.90±1.135	5.07±0.418		38.56±1.096	
T <sub>25</sub>	未分解层	18.37±1.995	1.95±.440	7.37±0.551	17.55±0.832	52.00±1.65
	分解层	30.95±1.088	5.42±0.612		34.45±1.361	
T <sub>35</sub>	未分解层	17.87±0.981	1.69±0.240	6.21±0.466	16.54±0.779	44.06±1.87
	分解层	27.93±0.570	4.52±0.562		27.52±0.897	

4 讨论与结论

4.1 间伐强度对枯落物厚度和储量的影响

随着间伐强度增加,枯落物未分解层厚度和储量都逐渐减小,中度间伐强度下枯落物分解层厚度最大、储量最多,轻度间伐次之,重度间伐强度下枯落物厚度最小、储量最少,这与曹旭平等<sup>[17]</sup>的研究结果相似。可能是由于随着间伐强度的增大,林内林木逐渐较少,郁闭度逐渐降低,致使凋落量减少,同时光照增强,地表温度提高,加速未分解层分解,导致枯落物未分解层厚度和储量随之减少,分解层储量增大,但重度间伐强度下林内林木数量过少,导致林内光照过强、温度过高,抑制微生物活动,致使枯落物未分解层分解速率大幅降低,凋落量的减少加上分解速率的降低导致重度间伐强度下枯落物分解层厚度和储量显著下降。

4.2 间伐强度对枯落物持水能力的影响

枯落物的持水能力可以用最大持水量来表示,是评估森林涵养水源能力的重要指标之一<sup>[22]</sup>。枯落物最大持水量受枯落物储量、枯落物分解状况的影响<sup>[23]</sup>。不同间伐强度下,枯落物分解层最大持水量都明显高于未分解层最大持水量,说明分解层的持水性能对枯落物的涵养水源功能起主要作用,这与陈倩等<sup>[23]</sup>的研究结果相似。可能是由于分解层储量远高于未分解层,且分解程度影响枯落物的持水能力,分解程度越高,其持水能力越强<sup>[24]</sup>。轻度间伐强度下枯落物未分解层最大持水量最高(2.53 mm),重度间伐强度下最低(1.69 mm);中度间伐强度下分解层最大持水量最高(5.42 mm),轻度间伐(5.07 mm)次之;轻度间伐强度下枯落物总持水量最高(7.60 mm),重度间伐强度下枯落物总持水量最低(4.52 mm),这与尤海舟等<sup>[25]</sup>的研究结果相

似,说明轻度间伐可以增大枯落物持水量,但重度间伐不利于枯落物持水,可能是由于轻度间伐下光照良好,枯落物分解率较高,而重度间伐下林内光照过强,温度过高,导致枯落物分解不充分,且枯落物储量过低。尽管对照样地中枯落物总储量大于轻度间伐,但轻度间伐强度下枯落物分解层储量大于对照样地,这与前文猜测枯落物分解程度影响持水能力相一致,进一步证明枯落物分解程度越高,其持水性能越强。枯落物拦蓄能力受枯落物最大持水量的影响,枯落物最大持水量越高拦蓄能力越强。

轻度间伐强度下枯落物有效拦蓄量( $56.79 \text{ t/hm}^2$ )最大,重度间伐强度下枯落物有效拦蓄量( $44.06 \text{ t/hm}^2$ )最小,这是因为轻度间伐强度下枯落物最大持水量最高,重度间伐强度下最低。说明轻度间伐可以增加枯落物对雨水的拦蓄能力,减少雨水对表层土壤的冲刷,具有更好的保持水土能力,重度间伐则不利于枯落物对雨水的拦蓄能力。

#### 4.3 间伐强度对枯落物吸水速率的影响

枯落物吸水速率与浸水时间在4种间伐强度下具有一致的变化趋势,均为幂函数关系,且两者相关性高,说明本结果能较好地描述枯落物的吸水过程。可能是由于枯落物吸水速率与表面水势差密切相关<sup>[6]</sup>。起始阶段,干燥枯落物浸入水中表面水势差大,吸水速率快,随着浸水时间的增加,枯落物含水量逐渐升高,其表面与周围的水势差逐渐减小,吸水速率逐渐减慢,直到水势差减小为0,吸水停止。轻度间伐强度下未分解层吸水速率最快,可能是因其最大持水量最高,说明轻度间伐强度有利于枯落物未分解层吸水;中度间伐强度下枯落物分解层吸水速率最快,轻度间伐次之,说明中度间伐和轻度间伐有利于枯落物分解层吸水,重度间伐强度下枯落物分解层和未分解层吸水速率均最慢,可能是因为重度间伐强度下枯落物储量最小、最大持水量最低。说明重度间伐不利于枯落物吸水。综合研究结果表明,轻度间伐强度加快了枯落物吸水速率,提高了枯落物持水性能。

本研究结果表明,轻度间伐可加快枯落物吸水速率,增强枯落物拦蓄能力,使枯落物具有更好的持水性能,对桥山林区水源涵养、保持水土具有重要意义,可为桥山林区麻栎次生林森林抚育间伐提供参考。但森林的合理抚育间伐,还需综合考虑多种生态服务功能,因此接下来还会开展抚育间伐对土壤理化性质、幼苗更新、林下生物多样性及林木生长的全面研究,以期对桥山地区麻栎次生林抚育间伐提供更为全面的参考依据。

#### 参考文献:

- [1] 刘永杰,王世畅,彭皓,等.神农架自然保护区森林生态系统服务价值评估[J].应用生态学报,2014,25(5):1431-1438.
- [2] 施爽,郭继勋.松嫩草原3种主要植物群落枯落物层生态水文功能[J].应用生态学报,2007,18(8):1722-1726.
- [3] 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.
- [4] 张学龙,金铭,刘贤德,等.祁连山5种典型灌木林枯落物储量及其持水特性[J].生态环境学报,2015,24(5):735-740.
- [5] 寇萌,焦菊英,尹秋龙,等.黄土丘陵沟壑区主要草种枯落物的持水能力与养分潜在归还能力[J].生态学报,2015,35(5):1337-1349.
- [6] 高开通,胡淑萍,刘鹏举,等.北京九龙山自然保护区典型林分枯落物水文效应研究[J].水土保持研究,2013,20(5):160-164,169.
- [7] 薛文艳,杨斌,张文辉,等.桥山林区麻栎种群不同发育阶段空间格局及关联性[J].生态学报,2017,37(10):3375-3384.
- [8] 白英辰,朱江,程小琴,等.密度调控对华北落叶松人工林枯落物水文特征的影响[J].水土保持学报,2016,30(6):128-133.
- [9] 陈治成,宋维峰,魏峥,等.元阳梯田水源区优势树种枯落物水文特性[J].水土保持研究,2017,24(1):135-139.
- [10] 胡静霞,杨新兵,朱辰光,等.冀西北地区4种纯林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持研究,2017,24(4):304-310.
- [11] 陈婷,郝敏,孔范龙,等.枯落物分解及其影响因素[J].生态学杂志,2016,35(7):1927-1935.
- [12] 姚国征,杨婷婷,高永,等.放牧强度对小针茅草原枯落物分解的影响[J].干旱区资源与环境,2017,31(7):167-171.
- [13] 卢玉鹏,许纪元,张晓曦,等.林下药材植物淋出物对太白杨枯落物分解及土壤酶活性的影响[J].土壤学报,2017(3):749-758.
- [14] 寇萌,焦菊英,尹秋龙,等.黄土丘陵沟壑区主要草种枯落物的持水能力与养分潜在归还能力[J].生态学报,2015,35(5):1337-1349.
- [15] 邱尔发,陈卓梅,郑郁善,等.麻竹山地笋用林凋落物发生、分解及养分归还动态[J].应用生态学报,2005,16(5):811-814.
- [16] 姚瑞玲,丁贵杰,王胤.不同密度马尾松人工林凋落物及养分归还量的年变化特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2006(5):83-86.
- [17] 曹旭平,于世川,张文辉,等.间伐对黄龙山辽东栎林下枯落物持水性的影响[J].水土保持通报,2016,36(6):247-251,257.

### 3 结论

2001—2010年期间陕西省水质污染程度呈减轻趋势,3条河流优良水质比例呈上升趋势,27个断面中Ⅰ—Ⅲ类水质断面比例由2001年的40.7%上升为2010年的66.7%,尤其是在2003—2008年这种上升趋势更为明显,3条河流污染状况从大到小排列次序是:渭河>延河>汉江。延河水质一直保持轻度污染,以Ⅳ类水质为主,但污染因子浓度总体有加重趋势;汉江水质一直保持优良,污染因子浓度总体有加重趋势。

随着径流量增大,水体的稀释能力和自净能力增强,水体污染程度也就相对减弱。对3条河流污染因子与径流输沙量回归分析表明,渭河流域DO浓度与径流量呈现正相关趋势,氨氮浓度与年径流量呈显著负相关,径流量越大,氨氮浓度越低。延河流域径流与DO浓度呈显著正相关,径流量越大,DO浓度越高,水质越好;延河流域挥发酚浓度与年径流量呈显著负相关,输沙量与挥发酚浓度呈正相关趋势,但正相关关系并不显著。汉江径流与COD<sub>MN</sub>浓度呈负相关趋势,但相关性指数不明显,年输沙量和COD<sub>MN</sub>浓度呈显著正相关,输沙量越大,COD<sub>MN</sub>指数越高,水质污染越严重;年径流量与BOD<sub>5</sub>浓度呈显著负相关,径流量越大,BOD<sub>5</sub>浓度越低,水质越好;输沙量与挥发酚浓度呈正相关趋势,但正相关关系并不显著。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国环境保护部. 环境保护部发布2016年上半年全国空气和地表水环境质量状况[EB/OL]. (2016-07-17)[2017-01-31]. [http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201607/t20160717\\_360820.htm](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201607/t20160717_360820.htm).
- [2] 王小云. 流域环境泥沙氮、磷平衡吸附与饮用水源地水质评价[D]. 杭州:浙江大学,2012.
- [3] Kirchner J, Feng X, Neal C. Fractal stream chemistry and its implications for contaminant transport in catchments[J]. *Nature*, 2000,403(6769):524-527.
- [4] Chaubey I, Haan C T, Salisbury J, et al. Quantifying model output uncertainty due to spatial variability of rainfall[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 1999,35(5):1113-1123.
- [5] 孙剑辉,柴艳,王国良,等. 黄河泥沙对水质的影响研究进展[J]. *泥沙研究*,2010(1):72-80.
- [6] 王有乐,张建奎,孙苑菡,等. 黄河兰州市区段泥沙特性及水质预测研究[J]. *甘肃科技*,2006,22(7):69-71.
- [7] 胡国华,赵沛伦,肖翔群. 黄河泥沙特性及对水环境的影响[J]. *水利水电技术*,2004,35(8):17-20.
- [8] 陈静生,洪松,王立新,等. 中国东部河流颗粒物的地球化学性质[J]. *地理学报*,2000,55(4):417-427.
- [9] 郭长城,喻国华,王国祥. 河流泥沙对污染河水中污染物的吸附特性研究[J]. *生态环境*,2006,15(6):1151-1155.
- [10] 应一梅,许春红,李海华,等. 黄河泥沙吸附砷污染物室内静态试验[J]. *环境科学研究*,2012,25(3):352-356.
- [11] 陈静生,张宇,于涛,等. 泥沙对黄河水质参数COD、高锰酸钾指数和BOD<sub>5</sub>的影响[J]. *环境科学学报*,2004,24(3):1-7.
- [12] 夏星辉,王然,孟丽红. 黄河耗氧性有机物污染特征及泥沙对其参数测定的影响[J]. *环境科学学报*,2004,24(6):969-974.
- [13] 钱正英,张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[R]. 北京:中国水利水电出版社,2001.
- [14] 谢记坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社,2000.
- [15] 土壤的水源涵养功能评价[J]. *水土保持通报*,2011,31(3):208-212.
- [16] 陈倩,周志立,史琛媛,等. 河北太行山丘陵区不同林分类型枯落物与土壤持水效益[J]. *水土保持学报*,2015,29(5):206-211.
- [17] 魏文俊,尤文忠,赵刚,等. 退化柞蚕林封育对枯落物和表层土壤持水效能的影响[J]. *生态学报*,2016,36(3):721-728.
- [18] 尤海舟,毕君,宋熙龙,等. 间伐抚育对小五台山华北落叶松林下枯落物持水特性的影响[J]. *水土保持通报*,2013,33(3):63-67,225.
- [19] 周祥,赵一鹤,张洪江,等. 云南高原典型林分林下枯落物持水特征研究[J]. *生态环境学报*,2011,20(2):248-252.
- [20] 饶良懿,朱金兆,毕华兴. 重庆四面山森林枯落物和土壤水文效应[J]. *北京林业大学学报*,2005,27(1):33-37.
- [21] 张峰,彭祚登,安永兴,等. 北京西山主要造林树种林下枯落物的持水特性[J]. *林业科学*,2010,46(10):6-14.
- [22] 姜海燕,赵雨森,陈祥伟,等. 大兴安岭岭南几种主要森林类型土壤水文功能研究[J]. *水土保持学报*,2007,21(3):149-153.
- [23] 张伟,杨新兵,张汝松,等. 冀北山地不同林分枯落物及

(上接第109页)