

黄土残塬沟壑区刺槐林枯落物水源涵养功能综合评价

侯贵荣¹, 毕华兴^{1,2,3,4,5,6}, 魏曦⁷, 孔凌霄¹, 周巧稚¹, 张渲东¹

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2. 山西吉县森林生态系统国家野外科学观测研究站,

山西 吉县 042200; 3. 水土保持国家林业局重点实验室(北京林业大学), 北京 100083;

4. 北京市水土保持工程技术研究中心(北京林业大学), 北京 100083;

5. 林业生态工程教育部工程研究中心(北京林业大学), 北京 100083;

6. 北京林果业生态环境功能提升协同创新中心, 北京 102206; 7. 山西农业大学林学院, 山西 太谷 030801)

摘要: 为了对黄土残塬沟壑区刺槐林枯落物水源涵养功能综合评价, 并提供以功能导向型的林分改造理论依据。于2017年7—8月在山西省吉县蔡家川流域选取475, 900, 1 575, 1 850, 2 525株/hm²不同密度的刺槐林为研究对象, 采用坐标综合评定法对不同密度刺槐林分枯落物层水源涵养功能进行综合评价。结果表明, 5种林分密度梯度中, 当林分密度为1 575株/hm²时, 刺槐林枯落物层能充分发挥其水源涵养功能, 而林分密度过高(2 525株/hm²)或者过低(475株/hm²)枯落物发挥水源涵养功能的能力均急剧减弱。为了使刺槐林枯落物水源涵养功能正常发挥, 其林分密度应控制为1 500株/hm²。建议现有林分改造中, 宜将刺槐林向该密度进行调控。

关键词: 密度梯度; 水源涵养功能; 综合评价; 坐标综合评定法

中图分类号: S714.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)02-0251-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.02.039

Comprehensive Evaluation of Water Conservation Function of Litters of *Robinia Pseudoacacia* Forest Lands in Gully Region on Loess Plateau

HOU Guirong¹, BI Huaxing^{1,2,3,4,5,6}, WEI Xi⁷,

KONG Lingxiao¹, ZHOU Qiaozhi¹, ZHANG Xuandong¹

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083;

2. National Field Research Station of Forestry, Jixian, Shanxi 042200; 3. Key Laboratory of State

Forestry Administration on Soil and Water Conservation (Beijing Forestry University), Beijing 100083;

4. Beijing Soil and Water Conservation Engineering Technology Research Center (Beijing Forestry University),

Beijing 100083; 5. Forestry Ecological Engineering Ministry of Education Engineering Research Center (Beijing

Forestry University), Beijing 100083; 6. Beijing Collaborative Innovation Center for Eco-environmental Improvement with

Forestry and Fruit Trees, Beijing 102206; 7. College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801)

Abstract: In order to comprehensively evaluate the function of water conservation of litters in *Robinia pseudoacacia* forests and provide the theoretical basis for the function-oriented stand improvement in Gully Region on Loess Plateau, five stand densities (475, 900, 1 575, 1 850, 2 525 plants/hm²) were chosen as subjects in this study at Caijiachuan watershed in Ji County of Shanxi province from July to August, 2017. The comprehensive coordinate method was applied to evaluate the function of water conservation of litters in *R. pseudoacacia* forests. Results showed that the litters of *R. pseudoacacia* forests could become effective fully on water conservation when the stand density was 1 575 plants/hm². However, the ability of the litter to play the function of water conservation was significantly reduced when the forest density was too high (2 525

收稿日期: 2018-08-16

资助项目: 国家重点研发计划项目“黄土残塬沟壑区水土保持型景观优化与特色林产业技术及示范”(2016YFC0501704); 国家科技计划项目“黄土残塬区水资源节约型农林复合系统调控技术研究与示范”(2015BAD07B0502); 国家自然科学基金项目“果农间作系统林下太阳辐射时空分布及其对间作作物的影响”(31470638); 科技创新服务能力建设—科研基地建设—林果业生态环境功能提升协同创新中心(2011 协同创新中心)(市级)(PXM2019_014207_000024)

第一作者: 侯贵荣(1991—), 男, 博士研究生, 主要从事森林水文、植被恢复研究。E-mail: hgralex@163.com

通信作者: 毕华兴(1969—), 男, 博士, 教授, 主要从事水土保持与林业生态工程研究。E-mail: bhx@bjfu.edu.cn

plants/hm²) or too low (475 plants/hm²). The forest density should be controlled at 1 500 plants/hm² so that its litters could play fully the function of water conservation in *R. pseudoacacia* forests. Therefore, it was advised that the existing forest of *R. pseudoacacia* should be improved accordance to this forest density.

Keywords: density gradient; water conservation function; comprehensive evaluation; coordinate comprehensive evaluation

水源涵养和降雨再分配过程通过林冠层、枯落物层及土壤层连续发挥作用而完成^[1]。其中枯枝落物层是重要的作用层,能有效拦截林地降水,避免太阳直射土壤,改善土壤结构,提高土壤持水能力,亦可避免土壤温度不至于过分降低或者升高,保护林分环境,在水源涵养、水土保持等方面发挥重要作用^[2-3]。枯落物通过对林地降水的截留作用,反映其水土保持性能的强弱^[4-5]。枯落物的组成成分和分解状况,直接反映林地生存环境和森林微气候的健康程度^[6-7],枯落物分解后成为土壤有机质和土壤养分与能量的来源,同时还具有促进物质循环、维持养分储存等生态功能^[8]。有研究^[9]表明,植物生长发育过程中所需营养元素的 69%~87% 来自植物凋落物分解过程中释放的营养元素。另外,蓄积量的多少,由林分组成、林分生长状况和收集时间等多个因素决定^[10-11]。

目前,国内外对枯落物的动态分解、养分归还^[12]、持水特性^[13]和截留降雨^[14]等特性已经取得较为成熟的研究成果,对林地土壤持水能力和入渗能力的水文效应的研究也取得较为系统的理论共识^[15]。以往研究^[16]多关注多树种间枯落物的水源涵养功能研究,尤其是对森林枯落物水源涵养功能特定指标的零散研究,而对于单一树种不同林分密度调控下森林枯落物水源涵养功能研究还较少。当对森林枯落物水源涵养功能综合评价时就显得力不从心,为此,越来越多的学者开展关注和进行森林水文功能的综合评价研究^[6-7,17]。

自 1992 年来,晋西黄土残塬区实施退耕还林工程,其中,刺槐作为主要恢复树种,被广泛种植于该区,经过 25 年的生态恢复和人工抚育,已经形成较稳定的森林生态系统。本文选择 5 种不同林分密度的刺槐林为研究对象,在对 5 种密度条件下的刺槐林枯落物层水源涵养功能指标定性和定量分析的基础上,通过坐标综合评定法分别探究 5 种林分密度下刺槐林地枯落物水源涵养功能,选择出在充分发挥水源涵养功能时的刺槐林密度,为黄土残塬区刺槐人工林抚育和种植模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于晋西黄土残塬区、吕梁山南端山西吉

县蔡家川流域(36°14'27"—36°18'23"N, 110°39'45"—110°47'45"E),流域面积 40.1 km²,海拔变化范围 904~1 592 m。降水集中在 6—8 月,约占全年降水量的 70%,流域多年平均降水 579 mm,多年平均水面蒸发量 1 729 mm,年均气温 10 ℃,具有典型黄土高原气候特征,属于暖温带、半湿润地区,褐土、半旱生落叶阔叶林与森林草原地带。流域土壤为褐土,黄土母质。营造防护林的主要树种有刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.)和油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)等乔木,混生或伴生有天然林山杨(*Populus davidiana* Dode.);灌木主要有黄刺玫(*Rosa xanthine* Lindl.)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana* Decne.)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla* Rehd.)、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata* Linn.)、丁香(*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. Et Perry)等,草本以白羊草(*Bothriochloa ischaemum* (Linn.) Keng)、冰草(*Agropyron cristatum* (Linn.) Gaertn.)等为主的旱生植物群落。

1.2 研究方法

黄土残塬区森林覆被率达 31.0%,人工林占有林面积的 30.1%,其中刺槐成林约占 6 533.3 hm²,占人工林面积的 39.4%^[18]。为研究不同密度刺槐林的水源涵养功能,黄土残塬区于 2001 年通过抚育间伐欲将刺槐人工林林分密度控制为 500, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500 株/hm² 5 种林分密度梯度。本研究于 2017 年 7—8 月在山西省吉县蔡家川流域刺槐林勘查后,选择 20 m×20 m 的 475, 900, 1 575, 1 850, 2 525 株/hm² 5 种密度的刺槐林为研究样地,5 种林分密度分别用 CH₄₇₅、CH₉₀₀、CH₁₅₇₅、CH₁₈₅₀ 和 CH₂₅₂₅ 表示,样地基本概况见表 1。

1.2.1 枯落物储量及持水能力测定 在林业调查期间,每块样地内随机选取 3 个 30 cm×30 cm 的小样方分别测量枯落物未分解层、半分解层厚度,再分层放入档案袋带回室内进行称量作为烘干前的鲜重。将收集到的 30 个样品放入烘箱调至 85 ℃连续烘干 12 h 后至恒重,作为烘干后的重量并记录。采用连续浸泡法测定枯落物持水能力。将 30 个档案袋内样品转移至尼龙网袋,扎紧口部,全部浸泡在装水的盆中,分别在 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 12, 24 h 时将网袋取

出控水至不再滴水后称重,作为浸泡后的重量并记录。枯落物最大持水量(率)、枯落物有效拦蓄量(率)计算公式为:

$$\begin{cases} W_0=M_1-M_0 \\ R_m=\frac{W_0}{M_0}\times 100\% \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} W_1=M_2-M_0 \\ R_0=\frac{W_1}{M_0}\times 100\% \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} W_m=(R_m-R_0)\times M \\ W=(0.85R_m-R_0)\times M \end{cases} \quad (3)$$

式中: W_0 为枯落物最大持水量(g); R_m 为最大持水率(%); M_1 为浸泡 24 h 后的枯落物质量(g); M_0 为风干后枯落物的质量(g); M_2 为样品鲜重(g); R_0 为自然含水率(%); W_1 为样品自然含水量(g); W_m 为最大拦蓄量(t/hm²); W 为有效拦蓄量(t/hm²); M 为枯落物蓄积量(t/hm²);0.85 为有效拦蓄系数。

表 1 样地基本概况

样地 编号	海拔/ m	坡度/ (°)	坡向	密度/ (株·hm ⁻²)	平均 树高/m	平均 胸径/cm	平均 林龄/a	叶面积 指数
CH ₄₇₅	1170	22	半阴坡	475	6.8	7.5	25	1.61
CH ₉₀₀	1180	39		900	9.7	13.9	26	1.78
CH ₁₅₇₅	1190	22		1575	8.6	10.5	25	1.98
CH ₁₈₅₀	1180	23		1850	9.5	9.6	22	2.74
CH ₂₅₂₅	1120	15		2525	8.7	9.6	23	3.24

1.2.2 坐标综合评价方法 本文采用坐标综合评价法对 5 种密度的刺槐人工林枯落物水源涵养功能进行综合评价,坐标综合评价法是应用多维空间理论,将评定对象看作由多向量所决定的空间点,以各点与最佳点的距离对各点进行比较和评价,可对多个不同量纲的指标进行综合评价^[4,19]。评价因子包括能影响枯落物水源涵养的指标,所选用指标包括枯落物厚度(X1)、枯落物蓄积量(X2)、枯落物最大持水量(X3)、枯落物最大持水率(X4)、枯落物有效拦蓄量(X5)、枯落物有效拦蓄率(X6)。

其基本步骤:首先,对各指标进行无量纲处理,列出原始数据表,以 X_{ij} 表示;其中“ i ”表示不同密度刺槐林,“ j ”表示不同指标;其次,与每一指标最大者 X_j 作比较,组成相对值 d_{ij} “矩阵坐标”,其计算公式为:

$$d_{ij}=X_{ij}/X_j \quad (4)$$

第三是计算第 i 个指标到标准点的距离,计算见式为:

$$p_i=\sqrt{\sum_i(1-d_{ij})^2} \quad (5)$$

第四是求各处理到标准点距离之和 M ;最后按 M 值由小到大进行排序,以综合值小者为最优。

$$M=\sum_{i=1}^n p_i \quad (6)$$

式中: n 为指标数量, $n=6$ 。

2 结果与分析

2.1 枯落物水文特征

2.1.1 枯落物厚度及枯落物蓄积量 5 种密度刺槐林枯落物厚度和蓄积量见图 1a 和图 1b。不同密度

刺槐林下枯落物厚度均大于 3 cm,枯落物厚度最大为刺槐林 CH₁₅₇₅,最小为刺槐林 CH₄₇₅。对 5 种密度刺槐林下枯落物厚度和蓄积量进行方差分析,结果表明刺槐林 CH₁₅₇₅ 枯落物厚度和蓄积量与其余林分差异性显著($P<0.05$),而刺槐林 CH₉₀₀、CH₁₈₅₀、CH₂₅₂₅ 林下枯落物厚度差异性不显著($P>0.05$)。5 种密度刺槐枯落物蓄积量为 47.87~189.80 t/hm²,其中 CH₁₅₇₅ 枯落物蓄积量最多,为 189.80 t/hm²,而 CH₄₇₅ 林下枯落物蓄积量最少(47.87 t/hm²)。5 种密度的刺槐林下分解层蓄积量均大于未分解层,枯落物分解层蓄积量均占总蓄积量的 52% 以上。随着林分密度的增加,枯落物总厚度和蓄积量整体呈现先增加后减小的趋势。

2.1.2 枯落物最大持水量(率) 枯落物层的持水能力是反映枯落物对森林生态系统水文作用的指标,其由枯落物储量和持水能力共同决定。5 种密度刺槐林枯落物最大持水量(率)见图 1c 和图 1d,5 种密度刺槐林枯落物最大持水量为 22.79~78.81 t/hm²,最大持水率为 258.64%~448.44%。5 种密度刺槐林中刺槐林 CH₁₅₇₅ 枯落物最大持水量(78.81 t/hm²)和最大持水率(448.44%)均为最大,而刺槐林 CH₄₇₅ 枯落物最大持水量(22.79 t/hm²)和最大持水率(258.64%)均最小。对各刺槐林枯落物最大持水量和最大持水率进行差异性分析,刺槐林 CH₁₅₇₅ 与其他林地差异性显著($P<0.05$),而其刺槐林 CH₉₀₀、刺槐林 CH₁₈₅₀ 以及刺槐林 CH₂₅₂₅ 之间最大持水量(率)差异性不显著($P>0.05$)。

2.1.3 枯落物有效拦蓄量(率) 5 种密度的刺槐林

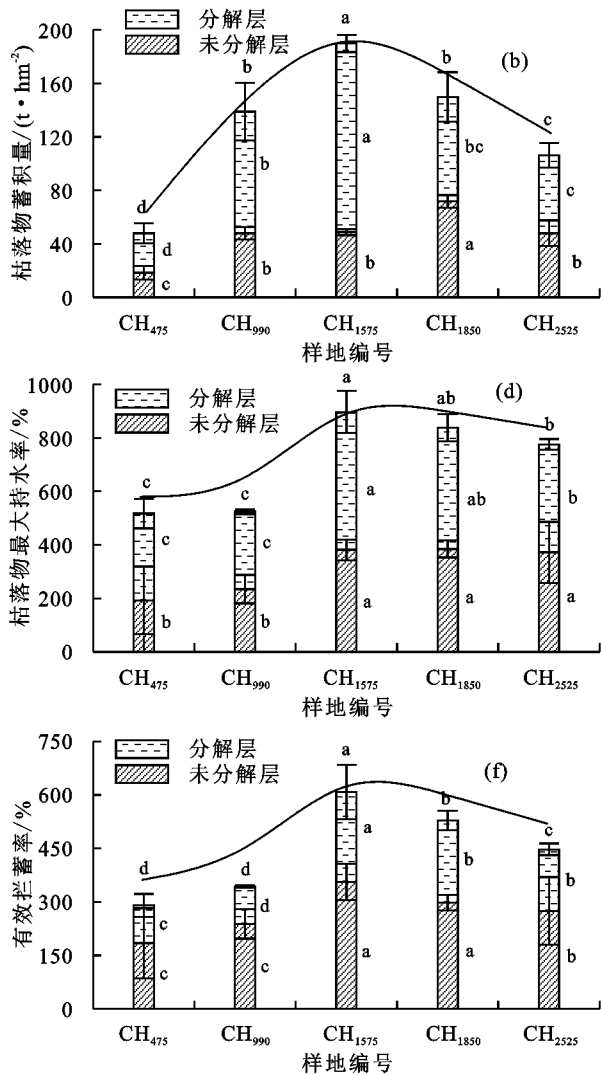
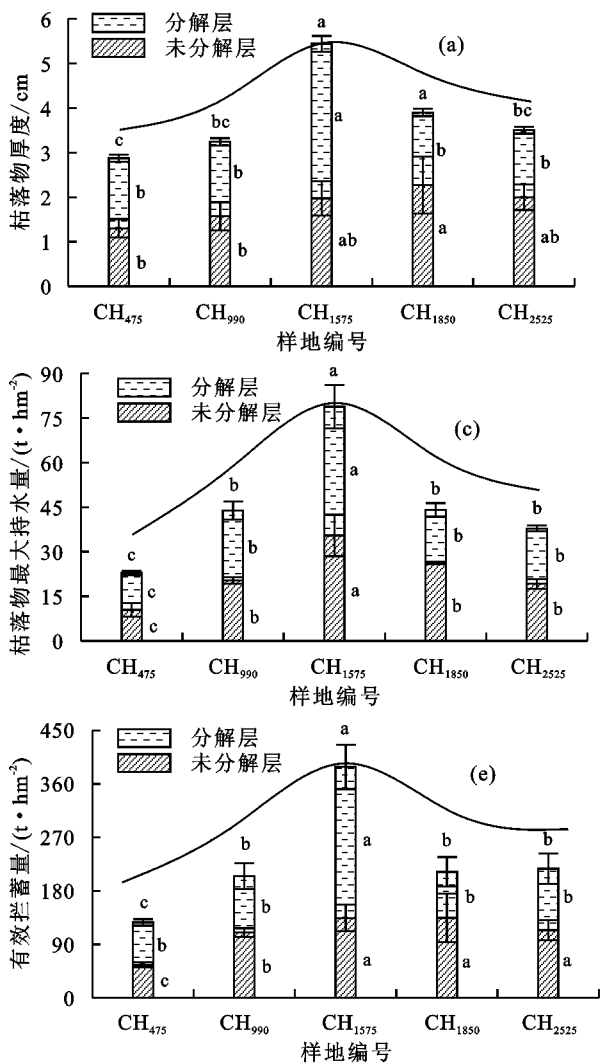
枯落物不同层次有效拦蓄量及有效拦蓄率分析结果见图 1e 和图 1f。不同层次的有效拦蓄量变化规律不同,未分解层枯落物有效拦蓄量为刺槐林 CH₁₅₇₅ (134.58 t/hm²)>刺槐林 CH₁₈₅₀ (134.28 t/hm²)>刺槐林 CH₂₅₂₅ (114.03 t/hm²)>刺槐林 CH₉₀₀ (109.83 t/hm²)>刺槐林 CH₄₇₅ (55.84 t/hm²);分解层枯落物有效拦蓄量为刺槐林 CH₁₅₇₅ (254.36 t/hm²)>刺槐林 CH₂₅₂₅ (103.22 t/hm²)>刺槐林 CH₉₀₀ (95.03 t/hm²)>刺槐林 CH₁₈₅₀ (77.57 t/hm²)>刺槐林 CH₄₇₅ (71.15 t/hm²)。而各林分枯落物不同层的有效拦蓄率变化规律相同,最大为刺槐林 CH₁₅₇₅ (303.99%),其次分别为刺槐林 CH₁₈₅₀ (264.11%)、刺槐林 CH₂₅₂₅

(223.62%)和刺槐林 CH₉₀₀ (171.2%),最小为刺槐林 CH₄₇₅ (144.95%)。

2.1.4 枯落物持水过程 5 种林地半分解层枯落物持水量(率)随时间的变化反映了不同林地枯落物吸水动态变化特征。枯落物在起初浸水 1 h 内,持水量迅速增加,随着浸泡时间的延长,增加速度较初始浸泡时明显减缓,至 24 h 枯落物的持水量基本达到饱和状态。通过回归分析得出,5 种密度刺槐林地枯落物持水量(率)与浸水时间呈较好的对数函数关系:

$$y=a\ln t+b,R^2>0.91$$

式中: y 为枯落物持水量(t/hm²); t 为浸水时间(h); a 、 b 均为待估参数。



注:不同小写字母表示同一列数据间差异显著($P<0.05$)。下同。

图 1 刺槐林地枯落物最大持水量(率)、有效拦蓄量(率)、厚度和蓄积量

由表 2 可知,通过拟合 5 种密度林分林下不同层次枯落物的吸水速率与浸水时间关系,二者呈幂函数关系:

$$v=kt_1^n,R^2>0.91$$

式中: v 为枯落物吸水速率(t/hm²/h); t_1 为浸水时间

(h); k 为系数; n 为指数。

5 种密度刺槐林枯落物吸水速率(图 2e、2f)所示,枯落物的吸水速率与浸水时间呈“逆 J”型曲线,枯落物在浸泡水中的前 2 h 内吸水速率变化最快,之后又呈现迅速下降趋势,在 2~10 h 下降趋势逐渐变

缓,10~24 h 逐渐趋停。刚浸入水中时,5 种林分枯落物吸水速率相差甚大,随着浸泡时间的延长,吸水速率趋势达到一致,这表明枯落物的持水随着浸泡时间的延长,已经达到饱和状态。

表 2 刺槐林地枯落物持水量(率)、吸水速率与浸水时间关系式

样地 编号	枯落 物层	持水量		持水率		吸水速率	
		关系式	R^2	关系式	R^2	关系式	R^2
CH ₄₇₅	未分解层	$y=94.10t^{0.0619}$	0.9440	$y=222.61t^{0.0567}$	0.9203	$v=104.01t^{-0.937}$	0.9678
	半分解层	$y=95.04t^{0.0856}$	0.9173	$y=226.23t^{0.0996}$	0.9397	$v=113.77t^{-0.91}$	0.9203
CH ₉₀₀	未分解层	$y=50.01t^{0.1513}$	0.9809	$y=331.50t^{0.049}$	0.9669	$v=47.90t^{-0.912}$	0.9366
	半分解层	$y=64.48t^{0.1126}$	0.9402	$y=440.91t^{0.0215}$	0.9707	$v=69.05t^{-0.907}$	0.9182
CH ₁₅₇₅	未分解层	$y=109.77t^{0.065}$	0.9665	$y=231.73t^{0.0713}$	0.9556	$v=121.75t^{-0.899}$	0.9594
	半分解层	$y=194.81t^{0.0356}$	0.9759	$y=409.46t^{0.0377}$	0.9233	$v=217.33t^{-0.934}$	0.9676
CH ₁₈₅₀	未分解层	$y=107.45t^{0.0589}$	0.9529	$y=265.88t^{0.0555}$	0.9308	$v=123.09t^{-0.928}$	0.9460
	半分解层	$y=94.69t^{0.0706}$	0.8819	$y=241.01t^{0.0713}$	0.9527	$v=117.55t^{-0.966}$	0.9363
CH ₂₅₂₅	未分解层	$y=76.80t^{0.0564}$	0.9359	$y=374.00t^{0.0548}$	0.9139	$v=86.24t^{-0.88}$	0.9390
	半分解层	$y=74.98t^{0.0698}$	0.9571	$y=359.11t^{0.0751}$	0.9764	$v=98.15t^{-0.936}$	0.9089

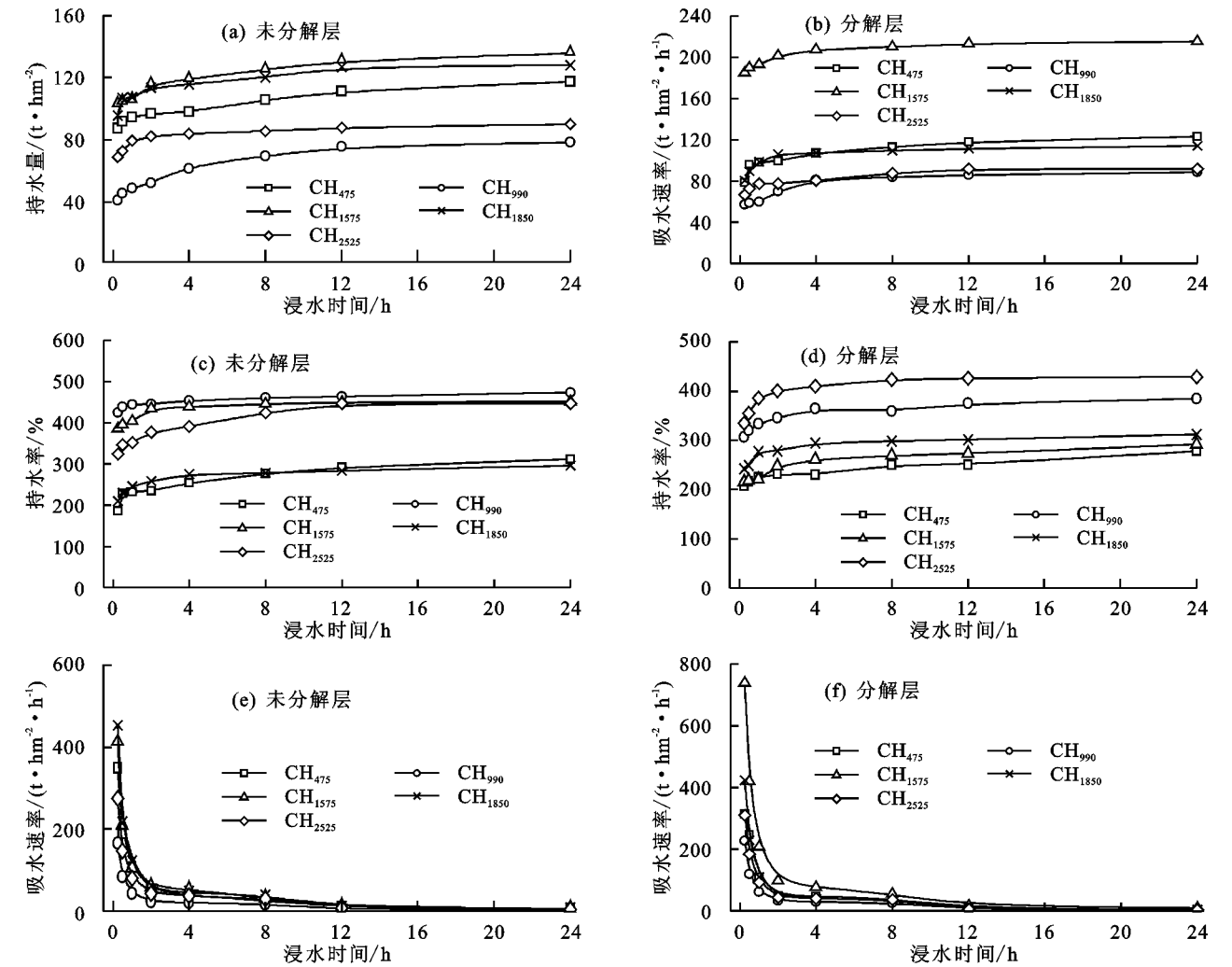


图 2 刺槐林地枯落物持水量、持水率和吸水速率持水过程

2.2 枯落物水源涵养功能综合评价

前文对 5 种密度刺槐林枯落物厚度、蓄积量、最大持水量、最大持水率、有效拦蓄量和有效拦蓄率 6 个指标分别进行分析,结果表明这 6 个指标在 5 种林

分密度刺槐林中分别表现出不同的优势,这对综合评价枯落物水源涵养功能的时候造成困难,为实现综合评价不同密度条件下枯落物水源涵养功能优劣程度,本文采用坐标综合评定法对枯落物水源涵养功能进

行综合评价。5 种密度刺槐林枯落物水源涵养功能综合评价结果见表 3。不同林分密度条件下,刺槐林下枯落物水源涵养功能存在明显差异,当刺槐林林分密度为 1 575 株/hm² 的时候,枯落物水源涵养功能

综合最优,而枯落物发挥水源涵养功能欠佳时对应的刺槐林林分密度是 475,2 525 株/hm²。分析结果也表明,为了使枯落物水源涵养功能正常发挥,刺槐林林分密度应该控制在 1 500 株/hm²。

表 3 不同密度刺槐林枯落物水源涵养功能综合评价排序

样地 编号	枯落物 厚度	枯落物 蓄积量	枯落物最大 持水量	枯落物最大 持水率	枯落物 有效拦蓄量	枯落物 有效拦蓄率	综合评价 结果	综合 次序
CH ₄₇₅	0.22	0.56	0	0.51	0	0.45	1.74	5
CH ₉₀₀	0.16	0.07	0.18	0.20	0.19	0.22	1.03	4
CH ₁₅₇₅	0	0	0.02	0	0.02	0	0.04	1
CH ₁₈₅₀	0.13	0.19	0	0.27	0.07	0.19	0.86	2
CH ₂₅₂₅	0.08	0.04	0.17	0.19	0.27	0.21	0.97	3

3 讨论

本研究通过对黄土残塬区刺槐人工林枯落物水文效应分析,表明随林分密度增加,其枯落物厚度、枯落物蓄积量、枯落物最大持水量、枯落物最大持水率以及枯落物有效持水量、枯落物有效持水率等水文指标均表现为先增加后减小的趋势,分析其原因可能是受林分密度的影响,单位面积林分密度越大,耗水量越大,而且受黄土残塬区地形因素的影响,林地表层土壤含水量差异较大^[20-21];此外,受土壤和大气温度等自然环境条件、枯落物自身特性以及人为活动等因素的影响,也受枯落物量、地表积累时间和微生物的影响^[20],进而影响到枯落物分解速度和分解程度以及持水能力。

在 5 种不同密度的刺槐林中,刺槐林地分解层蓄积量均大于未分解层,枯落物分解层蓄积量均占总蓄积量的 52% 以上,这与唐国华等^[22]和贾剑波等^[23]的研究结果相同。张建军等^[24]的研究结果表明,土壤水分入渗和蒸发都会受到土壤结构的影响,长时间的积累导致刺槐林枯落物分解层蓄积量大于未分解层。这种结果说明刺槐林对黄土残塬区的土壤改善具有积极作用。采用室内浸泡法研究枯落物水文特征,虽然能在一定程度上反映枯落物层拦蓄降雨的能力,但是对于反映真实降雨事件情况下枯落物拦蓄降雨的能力大小应进一步研究。

通过对黄土残塬沟壑区 5 种密度条件下刺槐林枯落物水源涵养功能指标进行综合评价,得到刺槐林林分密度为 1 575 株/hm² 时,枯落物发挥水源涵养功能最优,当林分密度过低或过高刺槐林分枯落物水源涵养功能也急剧降低。当林分密度过低时,林内局部小气候处于紊乱状态,昼夜温差较大,导致林地蒸散作用增强,不利于林木生长和枯落物蓄积^[25-26]。当

然,并非林分密度越大枯落物水源涵养功能越佳,林分密度过大会加剧林木个体对光照的竞争作用,进而导致林木枝条发生“自疏”现象,林木冠长会减少,同样会减少枯落物蓄积量,枯落物水文因子功能也随之而减弱。本研究对不同密度刺槐林水源涵养功能进行了静态的评价,在以后的研究中应该加强对森林水文功能的动态监测,以便更加客观地对森林枯落物水源涵养功能进行评价,从而为林分经营提供更有力的依据。

4 结论

(1) 对 5 种密度刺槐林林下枯落物水文特征进行分析,枯落物层最大持水量、枯落物总厚度和蓄积量、最大持水量(率)整体均呈现先增加后减小的趋势。

(2) 对 5 种密度刺槐林林下枯落物水源涵养功能进行综合评价,当刺槐林林分密度为 1 575 株/hm² 的时候,枯落物水源涵养功能综合最优,而林分密度过高(2 525 株/hm²)或者过低(475 株/hm²),枯落物发挥水源涵养功能的能力均急剧减弱。

(3) 为了使枯落物水源涵养功能正常发挥,刺槐林林分密度应该控制为 1 500 株/hm²。

参考文献:

[1] 赵芳,李雪云,赖国桢,等. 飞播马尾松林不同林下植被类型枯落物及土壤水文效应[J]. 中国水土保持科学, 2016,14(4):26-33.

[2] Edwards D P, Tobias J A, Sheil D, et al. Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests[J]. Trends in Ecology and Evolution,2014,29(9): 511-520.

[3] Brantley S, Ford C R, Vose J M. Future species composition will affect forest water use after loss of eastern hemlock from southern Appalachian forests[J]. Ecologi-

- cal Applications, 2013, 23(4): 777-90.
- [4] 王利, 于立忠, 张金鑫, 等. 浑河上游水源地不同林型水源涵养功能分析[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 249-255.
- [5] 韩福利, 田相林, 党坤良, 等. 抚育间伐对桥山林区油松林乔木层碳储量的影响[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(4): 184-191.
- [6] 宋启亮, 董希斌. 大兴安岭不同类型低质林群落稳定性的综合评价[J]. 林业科学, 2014, 50(6): 10-17.
- [7] 宋启亮, 董希斌. 大兴安岭低质阔叶混交林不同改造模式综合评价[J]. 林业科学, 2014, 50(9): 18-25.
- [8] 赵芳, 李雪云, 赖国桢, 等. 飞播马尾松林不同林下植被类型枯落物及土壤水文效应[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(4): 26-33.
- [9] Waring R H, Schlesinger W H. Forest ecosystems: Concepts and management[J]. Clinical and Experimental Allergy, 1985, 75: 181-210.
- [10] Capell R, Tetzlaff D, Hartley A J, et al. Linking metrics of hydrological function and transit times to landscape controls in a heterogeneous mesoscale catchment [J]. Hydrological Processes, 2012, 26(3): 405-420.
- [11] Wohl E, Barros A, Brunsell N, et al. The hydrology of the humid tropics [J]. Nature Reports Climate Change, 2012, 2(9): 655-662.
- [12] Guendehou G H S, Liski J, Tuomi M, et al. Test of validity of a dynamic soil carbon model using data from leaf litter decomposition in a West African tropical forest[J]. Geoscientific Model Development Discussions, 2013, 6(2): 3003-3032.
- [13] Saura M S, Estiarte M, Peñuelas J, et al. Effects of climate change on leaf litter decomposition across post-fire plant regenerative groups[J]. Environmental and Experimental Botany, 2012, 77(2): 274-282.
- [14] He X, Lin Y, Han G, et al. Litter fall interception by understorey vegetation delayed litter decomposition in *Cinnamomum camphora*, plantation forest [J]. Plant and Soil, 2013, 372(1/2): 207-219.
- [15] 韩路, 王海珍, 吕瑞恒, 等. 塔里木河上游不同森林类型枯落物的持水特性[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 96-101.
- [16] 程金花, 张洪江, 余新晓, 等. 贡嘎山冷杉纯林地被物及土壤持水特性[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(3): 45-49.
- [17] 刘学全, 唐万鹏, 崔鸿侠. 丹江口库区主要植被类型水源涵养功能综合评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2009, 33(1): 59-63.
- [18] 王斌瑞. 吉县黄土残源沟壑区刺槐林密度研究[J]. 林业科技通讯, 1987(5): 9-12.
- [19] 刘贤德, 张学龙, 赵维俊, 等. 祁连山西水林区亚高山灌丛水文功能的综合评价[J]. 干旱区地理, 2016, 39(1): 86-94.
- [20] 常译方, 毕华兴, 许华森, 等. 晋西黄土区不同密度刺槐林对土壤水分的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(6): 227-232.
- [21] 侯贵荣, 余新晓, 刘自强, 等. 不同降雨强度下北京山区典型林地土壤水分时空变化特征[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 209-215.
- [22] 唐国华, 董希斌, 毛波, 等. 大兴安岭山杨低质林改造对枯落物持水性能的影响[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(10): 35-40.
- [23] 贾剑波, 刘文娜, 余新晓, 等. 半城子流域3种林地枯落物的持水能力[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(6): 26-32.
- [24] 张建军, 张岩, 张波, 等. 晋西黄土区水土保持林地的土壤水分[J]. 林业科学, 2009, 45(11): 63-69.
- [25] 谈正鑫, 万福绪, 张涛, 等. 盱眙人工林枯落物及土壤水文效应研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 184-188.
- [26] 王会京, 王红霞, 谢宇光, 等. 太行山不同林型枯落物持水性及生态水文效应研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(6): 135-139.