

坝上高原杨树人工林的枯落物及土壤水源涵养功能退化

孙立博, 余新晓, 陈丽华, 贾国栋, 常晓敏, 刘自强

(北京林业大学水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为探究坝上高原不同退化程度杨树人工林对枯落物及土壤水源涵养功能退化的影响, 于2016年7—9月在张北县进行样地调查, 对不同退化程度杨树人工林地枯落物及土壤水源涵养功能进行定量分析。结果表明: (1) 林下枯落物储量表现为轻度退化(24.68 t/hm²) > 中度退化(13.43 t/hm²) > 重度退化(3.66 t/hm²), 枯落物有效拦蓄量表现为轻度退化(29.28 t/hm²) > 中度退化(23.18 t/hm²) > 重度退化(3.30 t/hm²), 最大持水量为轻度退化(34.90 t/hm²) > 中度退化(24.13 t/hm²) > 重度退化(3.86 t/hm²), 最大持水率表现为轻度退化(228.80%) > 中度退化(228.70%) > 重度退化(119.94%), 枯落物持水量、持水速率与浸水时间分别符合对数函数与指数函数; (2) 不同退化程度土壤容重范围为1.65~1.80 g/cm³, 毛管孔隙度为27.42%~33.64%, 总孔隙度为29.97%~38.57%; (3) 林地土壤入渗速率与入渗时间呈幂函数关系, 稳渗速率表现为中度退化(3.32 mm/min) > 轻度退化(2.58 mm/min) > 重度退化(2.44 mm/min)。坝上高原退化杨树人工林的枯落物及土壤的水源涵养能力处在较低水平, 随退化程度增大而显著下降。因此, 在森林经营中应注意合理的树种选择, 对退化较严重的林地通过补植其他树种或促进更新进行修复。研究结果可为当地杨树人工林退化评价及相关恢复重建提供一定的理论依据及参考。

关键词: 坝上高原; 退化; 枯落物; 土壤; 持水; 水源涵养

中图分类号: S715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2019)01-0104-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.01.018

Degradation of Litter and Soil Water Conservation Function of Poplar Plantation in Bashang Plateau

SUN Libo, YU Xinxiao, CHEN Lihua, JIA Guodong, CHANG Xiaomin, LIU Ziqiang

(Key Laboratory of Soil & Water Conservation and Desertification

Combating of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: To investigate the water conservation function of litter and soil in degraded poplar plantation in Bashang plateau, a sample plot survey was conducted in poplar plantation with three degradations (light degradation, medium degradation and heavy degradation) in Zhangbei from July to September, 2016, and water conservation characteristics of litter and soil were quantitatively analyzed. The results showed that: (1) Litter storage was sorted as light degradation (24.68 t/hm²) > medium degradation (13.43 t/hm²) > heavy degradation (3.66 t/hm²), and the effective retention capacity listed in the order of light degradation (29.28 t/hm²) > medium degradation (23.18 t/hm²) > heavy degradation (3.30 t/hm²), the maximum water-holding capacity followed the order of light degradation (34.90 t/hm²) > medium degradation (24.13 t/hm²) > heavy degradation (3.86 t/hm²), the maximum water-holding rate followed the order of light degradation (228.80%) > medium degradation (228.70%) > heavy degradation (119.94%). There was an logarithmic function relationship between water-holding capacity and immersion time, while a exponential function relationship was found between water-holding rate and immersion time. (2) The soil bulk density of the three poplar plantations ranged from 1.65 to 1.80 g/cm³, capillary porosity ranged from 27.42% to 33.64%, and the range of total porosity ranged was 29.97% ~ 38.57%. (3) There was a power function relationship between soil infiltration rate and infiltration time. The stable infiltration rate followed the order of medium degradation

收稿日期: 2018-08-20

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0500802); 科技创新服务能力建设—协同创新中心—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)(PXM2018_014207_000024); 大气重污染成因与治理攻关项目(DQGG0208)

第一作者: 孙立博(1993—), 男, 河北威县人, 硕士研究生, 主要从事水土保持研究。E-mail: 13453419009@163.com

通信作者: 余新晓(1961—), 男, 甘肃平凉人, 博士, 教授, 主要从事森林水文、水土保持研究。E-mail: yuxinxiao111@126.com

(3.32 mm/min) > light degradation (2.58 mm/min) > high degradation (2.44 mm/min). The water conservation capacity of soil and litter of degraded poplar plantations in Bashang Plateau was at a poor level and decreased significantly with the increasing of degradation degree. Therefore, reasonable tree species selection should be paid attention to during forest management, and the seriously degraded forest land should be restored by replanting other tree species or promoting regeneration. The results could provide some theoretical basis and reference for the degradation evaluation and the restoration and reconstruction of local poplar plantation.

Keywords: Bashang Plateau; degradation; litter; soil; water-holding; water conservation function

杨树是我国北方常见的人工造林树种,具有生长快、适应性强、产量高、易更新等优良特性。我国杨树人工林面积已超过 700 万 hm^2 ,居世界第一位^[1]。张北坝上地区自上世纪 50 年代便开始大规模营造以杨树为主要树种的人工防护林^[2],成为阻挡风沙入京的一道重要防线,同时也在保持水土、涵养水源、降低风速、调节区域小气候、提高作物产量等方面发挥了重要作用。然而,随着极端气候频发和人为活动干扰加强,杨树人工林出现了生长不良、枯梢明显、大面积枯死等不同程度的退化现象,其防风固沙和水土保持功能明显下降。据相关部门测算,坝上地区杨树防护林退化面积为 8.1 万 hm^2 ,占当地杨树防护林总面积的 79.5%^[3],水分是主要限制性因子之一,当地是典型半干旱区,年内降水分布不均,影响造林成活率、保存率、生长速度等。

枯落物层是森林涵养水源功能的主要作用层之一,发挥着截持降水、延缓地表径流、抑制土壤蒸发、增强土壤抗冲性等重要作用^[4],并影响着物质循环和能量流动。国内外学者^[5-7]在不同地区进行了大量的不同林分类型枯落物特性的研究,在枯落物的养分运移、凋落量、凋落动态、分解速率、截持降水、影响地表径流和土壤侵蚀机制等方面都取得了一定成果。林地枯落物层的水源涵养功能应该是半干旱地区的研究重点之一,也是退化林分生态功能恢复研究的重要内容。林地退化对枯落物的累积量、持水能力和有效拦蓄降雨能力有显著影响^[8],枯落物储量受树种组成、林龄、水热环境、枯落物凋落量、分解速率、在地表累积时间等的综合影响^[9-10],与人类活动也有密切关系。

土壤层是森林发挥水文效应的最主要场所,影响到土壤水分贮存和水分入渗等主要森林水文过程与功能^[11],并在生态系统物质循环和能量流动方面起着重要作用。坝上地区多数杨树人工林都存在退化,导致了林下土壤不同程度的退化,造成了土壤结构、持水性能、养分状况、渗透能力及保水能力的差异,影响土壤水分转移的方式和途径,从而影响了水源涵养功能^[12-13]。

坝上地区处于京津冀北部重要位置,在维持区域生态平衡方面起着重要作用,所以研究坝上地区退化林分枯落物及土壤的水源涵养功能极其重要。本文

将探究张北坝上地区退化杨树人工林枯落物的储量、持水特性、有效拦蓄量以及土壤的水文物理性质和入渗速率的变化。评价水源涵养功能的下降,以期为当地退化人工林的恢复提供一定的理论依据及参考。

1 研究区概况

研究地点位于河北省西北部坝上地区张北县(40°57'—41°34' N,114°10'—115°27' E),面积 4 185 km^2 ,县境地形呈高原丘陵景观,大致分东南部坝头区、中部平原区和西北部丘陵区 3 个类型,海拔 1 318~2 128 m,为典型的农牧交错带地区。属温带大陆性气候,为半干旱区,年均降水量 392.7 mm,南北部相差较大,且降水集中于 6—9 月,年均日照时间 2 098 h,年均气温 10.1 $^{\circ}\text{C}$,全年活动积温 2 448 $^{\circ}\text{C}$,全年无霜期 90~120 d,每年约有 50~70 d 风力达到 6 级以上,以偏西风为主,土壤风蚀严重。土壤类型主要为栗钙土。

2 研究内容与方法

2.1 样地调查

样地调查在 2016 年 7 月进行,依不同地区降雨量差异,选取了张北县的两面井乡、公会镇、小二台镇,分别位于张北县北、中、中南部,每个乡镇选取 4 块样地(20 m×20 m),共计 12 块。根据林木生长状况和枯立木数量及枯梢程度^[3]将调查样地分为轻度退化(未退化)、中度退化、重度退化 3 种类型,并记录每块样地的基本信息,包括 GPS 定位、每木检尺、枯梢率、死亡株数等(表 1)。

2.2 枯落物调查

2.2.1 枯落物储量调查 林下枯落物储量是评价枯落物保水能力及林分持水功能的重要指标。在样地对角线上选取 5 个 50 cm×50 cm 样方,用钢直尺测量未分解层和半分解层厚度,将枯落物按未分解、半分解层收集并称湿重,再放入烘箱 105 $^{\circ}\text{C}$ 烘 12 h 后称干重。

2.2.2 枯落物持水量和持水率测定 采用室内浸泡法测定枯落物的持水量和持水速率。

2.2.3 枯落物有效拦蓄量计算 枯落物有效拦蓄量的计算,可以通过枯落物蓄积量、持水率与枯落物自然含水率进行推算。

表 1 样地类型和林分基本特征

退化程度	样地编号	海拔/m	平均树高/m	平均胸径/cm	平均林龄/a	密度/(株·hm ⁻²)	郁闭度	林下草本盖度/%	林下草本生物量/(g·m ⁻²)
轻度退化	1	1438	11.65	20.79	28	650	0.8	21.67	32.20
	2	1460	10.40	17.63	15	625	0.8	37.50	36.16
	3	1437	11.36	17.97	16	650	0.7	33.33	37.54
	4	1435	12.95	22.64	15	1025	0.7	23.33	32.83
	5	1382	8.37	15.86	17	1025	0.5	35.00	41.13
中度退化	6	1370	9.33	13.51	18	1050	0.4	47.50	45.37
	7	1360	8.11	13.12	20	1025	0.3	25.00	45.46
	8	1350	8.13	11.97	19	1625	0.4	42.50	51.40
重度退化	9	1390	5.02	9.61	23	775	0.1	50.00	50.00
	10	1350	5.13	6.13	24	2725	0.2	22.50	42.18
	11	1380	6.32	11.65	21	600	<0.1	57.50	51.41
	12	1400	7.39	12.48	20	1125	<0.1	32.50	37.69

2.3 土壤调查

2.3.1 土壤物理性质测定 采用环刀法测定土壤物理性质,每块样地随机选取 3 个样点挖取土壤剖面,按 0—20,20—40,40—60 cm 3 层取土,并用土壤硬度计测量各土层的土壤硬度,随机测量 3 次后取平均值。用环刀浸泡法测定土壤容重、孔隙度等物理性质。

2.3.2 土壤入渗测定 土壤入渗采用双环法,在每块样地随机选取 3 个样点进行入渗试验,将所得结果取平均值。计算土壤初渗速率和稳渗速率。

2.4 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 19 软件进行数据处理, Sigmaplot 12.5 和 Arcgis 10.2 软件作图,单因素方差分析和最小显著法(LSD)检验其差异显著性,由原始数据拟合得到的多元回归关系经统计学检验得到拟合度参数 R^2 ,并在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 的水平检验相关系数的显著性。

在样地选择时,不同样地的林分密度及林龄差异明显,通过 R 语言实现的随机森林算法来解释林龄、密度及退化程度对土壤物理性质的重要性,随机森林

通过反复二分数据进行分类或回归,在变量(列)的使用和数据(行)的使用上进行随机化,生成很多分类树,再汇总分类树的结果。

3 结果与分析

3.1 不同退化程度枯落物储量

由表 2 可知,人工林枯落物储量差别较大,随退化程度加深而减少,总储量为 3.66~24.68 t/hm²,其中轻度退化(24.68 t/hm²)>中度退化(13.43 t/hm²)>重度退化(3.66 t/hm²),3 种退化程度的差异显著($P < 0.05$)。枯落物总厚度为中度退化林分最大(2.64 cm),轻度退化林分次之(1.85 cm),重度退化林分最小(0.85 cm),这可能是不同退化程度样地的林分密度及分解速率差异造成的。枯落物未分解层储量为轻度退化(10.33 t/hm²)>中度退化(5.78 t/hm²)>重度退化(0 t/hm²),半分解层储量为轻度退化(14.35 t/hm²)>中度退化(7.65 t/hm²)>重度退化(3.66 t/hm²),均差异显著($P < 0.05$)。可以看出,林分的枯落物总蓄积量随退化程度加大而急剧减少。

表 2 不同退化程度枯落物厚度及储量特征

退化程度	枯落物厚度/cm			未分解层		半分解层		总蓄积量/(t·hm ⁻²)
	未分解层	半分解层	总厚度	蓄积量/(t·hm ⁻²)	比例/%	蓄积量/(t·hm ⁻²)	比例/%	
轻度退化	0.79a	1.06a	1.85a	10.33a	41.84	14.35a	58.16	24.68a
中度退化	1.89a	0.75a	2.64a	5.78b	43.06	7.65b	56.94	13.43b
重度退化	0	0.85a	0.85a	0	0	3.66c	100.00	3.66c

注:同列不同小写字母表示处理间差异极显著($P < 0.01$)。下同。

3.2 不同退化程度森林枯落物持水能力

3.2.1 枯落物最大持水量和最大持水率 由图 1 可知,枯落物最大持水率为轻度退化(228.80%)>中度退化(228.70%)>重度退化(119.94%),其差异显著($P < 0.05$)。虽然轻度退化与中度退化林十分接近,但重度退化林则明显减小。枯落物最大持水量随退化程度加剧呈阶梯式减少,为轻度退化(34.90 t/hm²)>中

度退化(24.13 t/hm²)>重度退化(3.86 t/hm²),相互差异显著($P < 0.05$),其中重度退化的非常小,其持水性能显著降低。

3.2.2 枯落物持水过程 中度和重度退化林的未分解枯落物层持水过程变化趋势大致相同(图 2),开始时都上升较快,在 1.5 h 都有较明显的变慢,并且二者差异开始显现,即枯落物持水量在轻度退化林

开始大于中度退化林;随着枯落物持续吸水,逐渐接近饱和,轻度和中度退化林枯落物分别在 6,8 h 后逐渐趋于稳定。

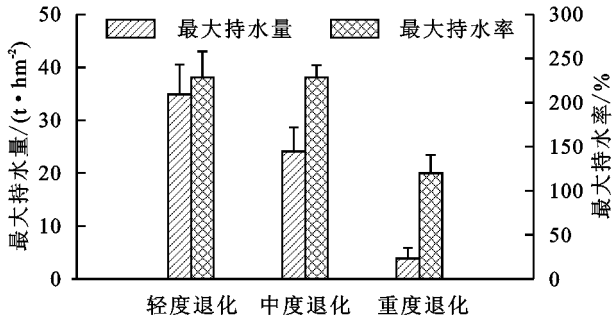


图 1 3 种退化程度林下枯落物的最大持水率和最大持水量

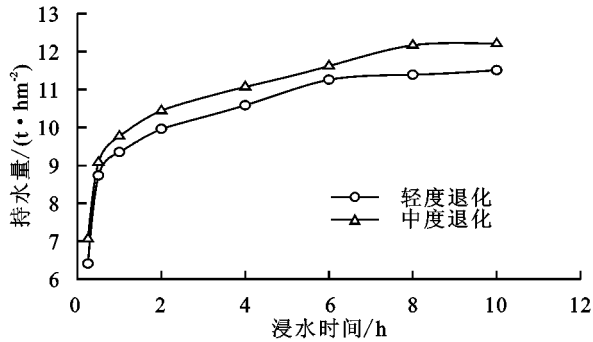


图 2 不同退化程度林下枯落物未分解层持水过程

在半分解层枯落物持水过程中(图 3),枯落物持水量为轻度退化>中度退化>重度退化。轻度退化枯落物在 0~2 h 持水量增长较明显,6 h 后逐渐达到稳定。中度退化枯落物的持水增长集中在 0~4 h,之后达到稳定。重度退化枯落物在 2 h 后便达到稳定,吸水主要发生在前 2 h。总体来看,半分解层枯落物持水量的变幅明显小于未分解层,是因半分解层自然含水率大于未分解层。

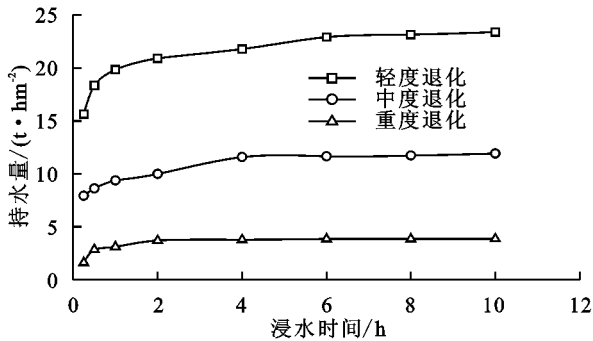


图 3 3 种退化程度林下枯落物半分解层持水过程

枯落物未分解、半分解层持水量与持水时间的统计关系见表 3,均符合对数关系,这与樊登星等^[14]研究结果相似。

3.2.3 枯落物持水速率 由图 4 和图 5 可知,轻度退化及中度退化的未分解枯落物的持水速率变化过程极其相似,其持水速率曲线基本重合,在 0.5 h 之前持水速率下降十分明显,之后明显放缓并趋于 0。对半分解层枯落物持水速率,初期为轻度退化(62.59

$t/(\text{hm}^2 \cdot \text{h}) >$ 中度退化(31.71 $t/(\text{hm}^2 \cdot \text{h}) >$ 重度退化(6.47 $t/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$),差异较大。之后,枯落物持水速率为轻度退化下降最快,中度退化次之,重度退化则不很明显。在 2 h 之后,3 种退化程度的持水速率因已接近或达到饱和而均逐渐接近于 0。

表 3 不同退化程度林下枯落物持水量随时间变化的关系

退化程度	未分解层		半分解层	
	方程	R ²	方程	R ²
轻度退化	$y=1.2335\ln t+8.9477$	0.9335	$y=1.9607\ln t+19.241$	0.9673
中度退化	$y=1.2708\ln t+9.4475$	0.9613	$y=1.1521\ln t+9.465$	0.9751
重度退化			$y=0.5323\ln t+2.9149$	0.8313

注: y 表示枯落物持水量(t/hm^2); t 表示时间(h)。

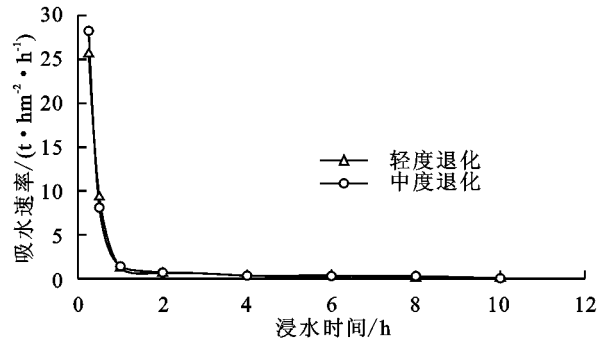


图 4 枯落物未分解层持水速率与持水时间的关系

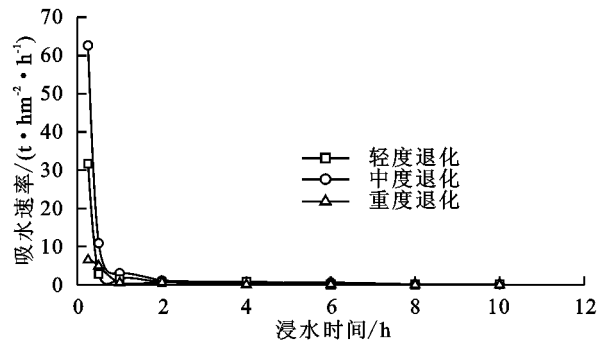


图 5 枯落物半分解层持水速率与持水时间的关系

持水速率与持水时间的统计关系满足指数函数(表 4),且拟合效果较好,这与王鹏程等^[15]的研究结果相似。

表 4 不同退化程度林下枯落物持水速率随时间变化的关系

退化程度	未分解层		半分解层	
	方程	R ²	方程	R ²
轻度退化	$y=2.4073x^{-1.56}$	0.9546	$y=4.3687x^{-1.588}$	0.9636
中度退化	$y=2.5183x^{-1.567}$	0.9030	$y=1.8874x^{-1.616}$	0.8708
重度退化			$y=0.7085x^{-2.159}$	0.9124

注: y 表示枯落物持水速率($t/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$); t 表示持水时间(h)。

3.2.4 枯落物有效拦蓄量 由图 6 可知,枯落物有效拦蓄量为轻度退化(29.28 $t/\text{hm}^2 >$ 中度退化(23.18 $t/\text{hm}^2 >$ 重度退化(3.30 t/hm^2),相互差异显著($P < 0.05$)。重度退化林因无未分解层导致其有效拦蓄量最小。

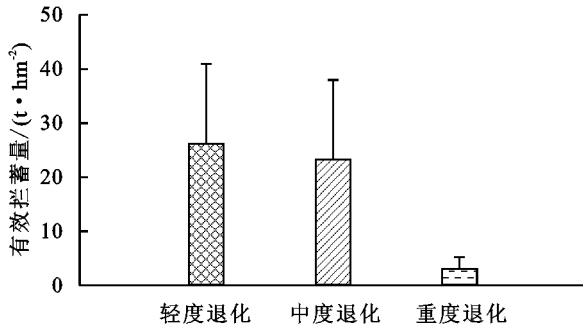


图 6 不同退化程度林下枯落物有效拦蓄量

3.3 土壤水文物理性质

3.3.1 土壤孔隙度和持水能力 由表 5 可知,随退化程度增加,各项土壤水文物理性质都有明显变化,

表 5 不同退化程度林分土壤物理性质

退化程度	容重/ ($g \cdot cm^{-3}$)	最大 持水量/%	最小 持水量/%	毛管 持水量/%	非毛管 持水量/%	毛管 孔隙度/%	总孔 隙度/%
轻度退化	$1.69 \pm 0.145ab$	$20.25 \pm 4.400ab$	$12.78 \pm 3.565a$	$17.44 \pm 3.089b$	$4.58 \pm 2.049a$	$29.13 \pm 2.648b$	$33.71 \pm 4.257b$
中度退化	$1.65 \pm 0.137b$	$23.71 \pm 5.000a$	$15.35 \pm 4.381a$	$20.68 \pm 4.374a$	$4.93 \pm 1.182a$	$33.64 \pm 4.55a$	$38.57 \pm 5.201a$
重度退化	$1.80 \pm 0.054a$	$16.72 \pm 1.630b$	$7.29 \pm 1.687b$	$15.30 \pm 1.631b$	$2.55 \pm 0.499b$	$27.42 \pm 2.142b$	$29.97 \pm 2.063b$

注:表中数据为平均值±标准误差。

3.3.2 土壤入渗特征 3 种退化程度土壤初渗速率为 $4.97 \sim 9.43$ mm/min(图 7),初渗速率最大为中度退化林地,最小为重度退化林地,两者相差 1.9 倍。稳渗速率中度退化(3.32 mm/min) $>$ 轻度退化(2.57 mm/min) $>$ 重度退化(2.44 mm/min)。轻度退化达到稳渗需要 5.2 min,中度退化与重度退化达到稳渗速率所用时间分别为 9.0,10.0 min。

中度退化林地土壤入渗能力最强,轻度退化和重度退化林地土壤入渗能力相近。对林地土壤入渗时间和入渗速率进行拟合(表 6),二者存在较好的幂函数关系,表达式为: $y=c+ae^{-bx}$,且 $R^2>0.98$ 。式中:

土壤容重为重度退化(1.79 g/cm³) $>$ 轻度退化(1.69 g/cm³) $>$ 中度退化(1.65 g/cm³);最大与最小持水量为重度退化(16.72% 与 7.29%)均小于轻度退化与中度退化;毛管持水量为中度退化(20.68%) $>$ 轻度退化(17.45%) $>$ 重度退化(15.30%);非毛管持水量为中度退化(4.93%) $>$ 轻度退化(4.58%) $>$ 重度退化(2.55%);毛管孔隙度为中度退化(33.64%) $>$ 轻度退化(29.13%) $>$ 重度退化(27.42%);总孔隙度为中度退化(38.57%) $>$ 轻度退化(33.71%) $>$ 重度退化(29.97%)。总体来看,轻度退化与中度退化的各土壤水文物理性质较接近,重度退化土壤有较为明显的差别。

y 为入渗率(mm/min); t 为入渗时间(min); a 、 b 、 c 为参数。

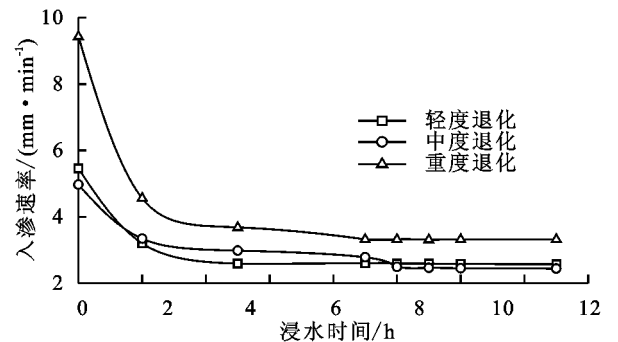


图 7 不同退化程度林地土壤入渗速率

表 6 不同退化程度林分土壤入渗速率拟合方程

退化程度	初渗速率/ ($mm \cdot min^{-1}$)	稳渗速率/ ($mm \cdot min^{-1}$)	稳渗时间/ min	回归方程	R^2
轻度退化	5.46	2.58	5.2	$y=2.5775+2.8839e^{-0.7755x}$	0.9996
中度退化	9.43	3.32	9.0	$y=3.3499+6.0741e^{-0.787x}$	0.9983
重度退化	4.97	2.44	10.0	$y=2.5245+2.4082e^{-0.4565x}$	0.9865

注: y 表示土壤入渗速率(mm/min); t 表示入渗时间(min)。

3.3.3 土壤硬度 土壤硬度受土壤结构、质地和生物等因素影响,直接关系到植物根系的生长发育。重度退化林地土壤硬度高于其他 2 个退化林地的土壤硬度(图 8),轻度退化与中度退化土壤硬度差别不大。随土层深度增加土壤硬度加大,40—60 cm 土层土壤硬度最高,其次是 20—40 cm,而 0—20 cm 的土壤硬度最小,3 种退化程度林地 40—60 cm 土层硬度分别是 0—20 cm 土层的 1.08,1.31,1.12 倍。

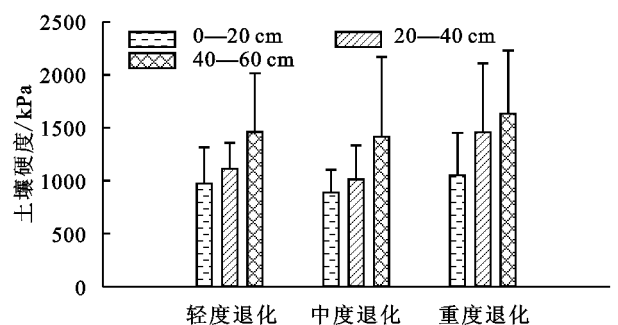


图 8 不同退化程度、不同深度土层土壤硬度

4 讨论

4.1 不同退化程度林分枯落物层水文特征

通过分析,3种退化程度林分枯落物持水速率与浸泡时间关系符合 $y = ax^{-b}$,这与宣立辉等^[16]、王安宁等^[17]的研究结果相似。由于地区降雨较少,虽然在一定程度上枯落物层起到拦蓄降雨的能力,但更多应考虑到其抑制土壤蒸发、降低地表温度的作用。对这方面的研究还需进一步的深入。

枯落物蓄积量、最大持水率与最大持水量轻度退化林分都优于其他2种林分。重度退化林下枯落物无论是在蓄积量、最大持水率还是最大持水量等方面都有显著的降低,可见随着退化程度的加剧,特别是到了重度退化阶段,杨树人工林下枯落物的各项特性指标都呈下降的趋势。根据样地调查发现,拥有枯落物蓄积的林分树木长势基本较好。同时结合研究区大风天气条件,每年3—6月降水较少,环境干燥,较大的风速会将枯落物吹起,从而增加地表蒸发,降低土壤水分,影响植物生长。中度及重度退化林分密度要高于轻度退化林分,但在以上3方面特征中较于轻度退化差,表现出造林密度并不是越大越好,造林密度还需配合当地自然环境等条件进行适当调整,应当在林分达到重度退化前及时进行调整、优化与改造,避免林分过度退化致使各项功能下降或丧失,同时应当根据不同树种的耗水特性筛选适宜该地区生长的耐旱树种。

4.2 不同退化程度林分土壤层水文特征

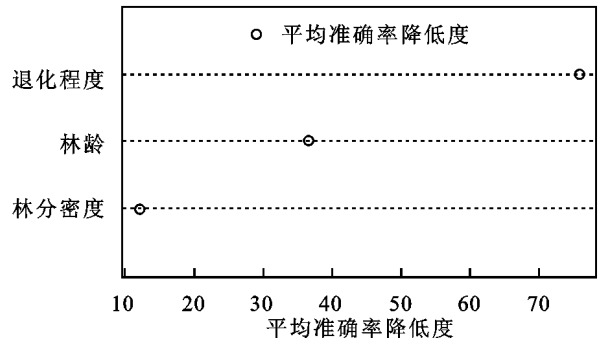
在0—60 cm土层的土壤容重、持水量和孔隙度均值都表现为中度退化林最优,轻度退化林次之,重度退化林最差。其中轻度退化与中度退化林分土壤指标相接近,重度退化差别较明显。原因可能是随着退化程度的增加,土壤有机质质量分数减少,土壤团聚性降低,土壤紧实度增加,同时重度退化土壤中,钙积层在土壤剖面占比明显增大^[18],使得土壤变得坚硬,直接导致土壤水文功能下降,同时植物根系吸水及生长也受到抑制。

中度退化土壤初渗速率最大(9.43 mm/min),这与其较大的持水量及孔隙度有直接关系,林下植被的根系改善了土壤结构,使得土壤具有较好的入渗性能,而重度退化林下植物多样性不丰富,因而土壤结构没有中度退化林改善明显。轻度与重度退化土壤初渗速率分别为5.46, 4.97 mm/min,差别不明显。由于土壤表层结皮、腐殖质层厚度及物理性质的不同,3种退化程度林地土壤达到稳渗所用的时间也不同。轻度退化林地土壤入渗能力最强,重度退化土壤入渗能力最弱,表明了不同退化程度与土壤入渗能力

的相关性,土壤入渗能力的好坏直接决定了树木从土壤中获得水分的难易程度。

不同退化程度和不同深度的土壤硬度也有较明显的差异,重度退化林分的生长衰退明显是根系的生长受到了土壤干化层的抑制,同时在重度退化土壤中,砾石含量明显多于其他退化程度的土壤,进一步导致了重度退化林地土壤的水源涵养功能降低。虽然轻度退化土壤硬度大于中度退化土壤硬度,但两者差别不大,不能说明其两者之间的差别是由于土壤硬度所引起的。土壤硬度随土层深度的增加显著增大,增加幅度明显,另外有些地区的土壤存在明显的钙积层,土层坚硬紧实,其持水能力和透气能力均低于普通土壤层^[18],这些情况均限制了树木根系的生长,今后的研究中应将这些因素考虑在内。

随机森林结果(图9)显示退化程度对土壤物理性质的影响最为突出,林分密度也有一定的影响,林龄的影响不明显。在自然环境中,仍有诸如立地条件、微气象及人为因素等诸多影响使得土壤性质产生差异,如何更加精确、全面地了解退化与多因子对土壤等产生的影响,还需要进行广泛探索和深入的研究。



注:平均准确率降低度表示把变量的取值变为随机数,随机森林预测准确性的降低程度。

图9 随机森林模型比较林龄、密度及退化程度对土壤性质的影响

5 结论

(1)3种退化程度林下枯落物蓄积量与退化程度呈现显著的相关关系,说明枯落物蓄积量是反映林地退化程度的一项重要指标。枯落物持水量、持水速率与浸水时间的关系符合对数函数与指数函数的特征。共同特征表现为持水量变化较快,在浸水初期吸水十分迅速,吸水速率快速下降,随后持水达到稳定饱和。3种退化程度林下枯落物持水特性相差较大,主要原因是枯落物自然含水率及分解速率的不同所致。枯落物有效拦蓄量与最大持水量呈现出一定的相关性,其中重度退化林下枯落物有效拦蓄量明显低于轻度、中度退化地区,表明在重度退化程度下林分枯落物拦

蓄功能十分微弱,为保证较好的拦蓄效果,在林地中度退化阶段就应该研究对策抑制退化程度的加深。

(2)3种退化程度林下土壤在最大持水量、最小持水量、毛管持水量、非毛管持水量、毛管孔隙度及总孔隙度等指标中度退化均最大,轻度退化次之,重度退化在6项指标中均最小。土壤硬度为重度退化>轻度退化>中度退化;林地土壤入渗时间和入渗速率之间存在较好的幂函数关系。综合3种退化程度枯落物和土壤水源涵养功能,中度退化水源涵养功能较轻度退化林分略有下降,但幅度较小,重度退化林分水源涵养功能下降明显。

参考文献:

- [1] 方升佐. 中国杨树人工林培育技术研究进展[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2308-2316.
- [2] 郑春雅, 许中旗, 马长明, 等. 冀西北坝上地区退化防护林的土壤性质[J]. 水土保持学报, 2016, 30(1): 203-207.
- [3] 邢海富. 坝上杨树防护林死亡原因浅析[J]. 河北林业科技, 2015(1): 76-77.
- [4] 马任甜, 方瑛, 安韶山. 云雾山草地植物地上部分和枯落物的碳、氮、磷生态化学计量特征[J]. 土壤学报, 2016, 53(5): 1170-1180.
- [5] 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.
- [6] 赵鸣飞, 薛峰, 吕焯, 等. 黄土高原森林枯落物储量、厚度分布规律及其影响因素[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7364-7373.
- [7] 马雪华, 杨茂瑞, 胡星弼. 亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究[J]. 林业科学, 1993(3): 199-206.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 董伯骞, 黄选瑞, 夏明瑞. 退化华北落叶松林枯落物对近自然经营的短期响应[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(3): 52-58.
- [11] 陈波, 孟成生, 赵耀新, 等. 冀北山地不同海拔华北落叶松人工林枯落物和土壤水文效应[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 216-221.
- [12] Lamb E G, Han S, Lanoil B D, et al. A High Arctic soil ecosystem resists long-term environmental manipulations[J]. Global Change Biology, 2011, 17(10): 3187-3194.
- [13] 杨丹, 樊大勇, 谢宗强, 等. 消落带生态系统氮素截留转化的主要机制及影响因素[J]. 应用生态学报, 2016, 27(3): 973-980.
- [14] 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, (增刊2): 177-181.
- [15] 王鹏程, 肖文发, 张守攻, 等. 三峡库区森林植被林地枯落物现存量及其持水能力[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(4): 41-47.
- [16] 宣立辉, 康凡, 谷建才, 等. 冀北地区典型林分枯落物层与土壤层的水文效应[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 86-91.
- [17] 王安宁, 蔺鑫, 穆枫, 等. 冀北木兰围场沙荒坡地不同坡位黄柳沙障内枯落物的持水性能[J]. 北京林业大学学报, 2018, 40(1): 98-107.
- [18] 郑春雅. 冀西北坝上地区杨树防护林退化原因研究[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2016.
- [18] 张继义, 赵哈林. 退化沙质草地恢复过程土壤颗粒组成变化对土壤-植被系统稳定性的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1395-1401.
- [19] 刘楠, 张英俊. 放牧对典型草原土壤有机碳及全氮的影响[J]. 草业科学, 2010, 27(4): 11-14.
- [20] 孙慧兰, 李卫红, 杨余辉, 等. 伊犁山地不同海拔土壤有机碳的分布[J]. 地理科学, 2012, 32(5): 603-608.
- [21] 高雪峰, 韩国栋, 张功, 等. 荒漠草原不同放牧强度下土壤酶活性及养分含量的动态研究[J]. 草业科学, 2007, 24(2): 10-13.
- [22] 张秀珍, 刘秉儒, 詹硕仁. 宁夏境内12种主要土壤类型分布区域与剖面特征[J]. 宁夏农林科技, 2011, 52(9): 48-50, 63.
- [23] 凌智永, 李志忠, 王少朴, 等. 伊犁可克达拉剖面有机碳、碳酸钙分布特征及其环境意义[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(2): 195-199.
- [24] Zinn Y L, Lal R, Resck D V, et al. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils [J]. Geoderma, 2005, 127(1): 168-173.

(上接第 103 页)