

黄河三角洲退化刺槐林地的土壤水分生态特征

夏江宝¹, 许景伟², 李传荣³, 陆兆华¹

(1. 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室 滨州学院, 山东 滨州 256603;

2. 山东省林业科学研究院, 山东 济南 250014; 3. 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 为揭示黄河三角洲人工刺槐林的退化机理及其土壤水分生态特征对退化程度的响应关系, 采用野外典型抽样调查分析和室内分析测定相结合的方法, 在黄河三角洲地区研究了退化刺槐林地土壤水文物理性状、土壤入渗特性及土壤贮水性能的差异。结果表明, 随着刺槐林退化程度的加剧, 林地土壤的容重增加, 而土壤有机质、孔隙度和孔隙比等表征土壤水文物理性质的指标明显降低, 0—20 cm 土层土壤指标状况好于 20—40 cm 土层。轻度、中度、重度退化刺槐林地的土壤容重与未退化相比分别增加了 3.68%, 9.56%, 14.71%; 总孔隙度降低 2.38%, 4.86%, 9.57%。Horton 模型比较适合描述退化刺槐林地土壤水分入渗过程, 随着退化程度的加剧, 初渗率和稳渗率均表现出降低趋势。轻度、中度、重度退化类型下的稳渗速率值分别比未退化(4.02 mm/min)下降了 25.62%, 55.47%, 85.07%。刺槐林地土壤吸持、滞留贮水量、土壤涵养降水量、有效蓄水量也表现出降低趋势, 0—20 cm 土层的贮水性能均强于 20—40 cm 土层, 轻度、中度、重度退化类型下的 40 cm 土层土壤饱和贮水量分别比未退化(195.78 mm)下降了 2.37%, 4.85%和 9.56%。

关键词: 刺槐林; 黄河三角洲; 土壤入渗; 土壤贮水; 土壤退化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0075-06

中图分类号: S714.7, S727.2

Ecological Characteristics of Soil Moisture in Degraded *Robinia Pseudoacacia* Plantation in Yellow River Delta Area

XIA Jiang-bao¹, XU Jing-wei², LI Chuan-rong³, LU Zhao-hua¹

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Eco-Environmental Science for Yellow River Delta,

Binzhou University, Binzhou, Shandong 256603, China; 2. Research Institute of Forestry of Shandong, Jinan,

Shandong 250014, China; 3. College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: In order to reveal the driving mechanisms of *Robinia pseudoacacia* plantation and the responses of ecological characteristics of soil moisture to plantation degradation, the soil hydrologic-physical characteristics, infiltration, and water-holding capacity in degraded *R. pseudoacacia* plantation in the Yellow River Delta area are studied using the methods of representative field investigation and laboratory analysis. Results showed that with the degradation of *R. pseudoacacia* plantation, soil hydrologic-physical properties such as soil organic matter, soil porosity, and void ratio decreased with increased soil density and soil hydrologic-physical properties in the 0—20 cm layer was better than those in the 20—40 cm layer. Soil porosity in slightly, medially and badly degraded stands increased by 3.68%, 9.56%, and 14.71%, respectively, compared with normal stand, and however, total soil porosity decreased by 2.38%, 4.86%, and 9.57%, respectively. Horton infiltration model can better describe the infiltration process in the degraded *R. pseudoacacia* plantation. With the degradation of *R. pseudoacacia* plantation, initial infiltration rate and stable infiltration rate decreased greatly. Similarly, stable infiltration rate decreased by 25.62%, 55.47%, and 85.07%, respectively, compared with normal stand (4.02 mm/min). Total water-storage capacity decreased by 2.37%, 4.85%, and 9.56%, respectively, compared with normal stand (195.78 mm). Soil capillary and non-capillary po-

收稿日期: 2010-05-05

修回日期: 2010-08-04

资助项目: 国家“十一五”林业科技支撑计划“盐碱地改良沿海防护林体系研究与示范”(2009BADB2B05); 国家自然科学基金项目“黄河三角洲湿地生态安全评价研究”(30770412); 滨州学院重大课题“黄河三角洲盐碱地植被修复技术研究”(2008ZDL03)

作者简介: 夏江宝(1978—), 男(汉族), 山东省安丘市人, 博士, 副教授, 主要从事植被恢复与生态重建研究。E-mail: xiajb@163.com。

通信作者: 许景伟(1963—), 男(汉族), 辽宁省朝阳市人, 博士, 研究员, 硕士生导师, 主要从事林业生态工程研究。E-mail: xujingweis@163.com。

rosity, water-holding capacity, total soil absorption precipitation, and effective precipitation decreased greatly. Soil water-holding capacity in the 0—20 cm layer was better than that in the 20—40 cm layer.

Keywords: *Robinia pseudoacacia* plantation; the Yellow River Delta; infiltration; soil water-holding; soil degradation

黄河三角洲位于渤海南部的黄河入海口沿岸地区,是黄河泥沙淤积形成的扇形冲积平原,在环渤海地区发展中具有重要的战略地位。黄河三角洲处于河流、海洋和陆地等多种动力系统的共同作用带上,是多种物质、能量体系交汇的界面,多类生态系统交错,典型、独具特色的多重生态界面,造就了其生态系统的脆弱性,其中以植被恢复为主的生态修复技术是黄河三角洲脆弱生态系统重建的主要措施之一。具有防风固沙、水土保持功能的刺槐(*Robinia pseudoacacia*)是黄河三角洲区域主要的造林树种之一,自20世纪70年代中期就开始被广泛种植,主要分布在大汶流自然保护区、一千二自然保护区和黄河故道附近,形成一千二和孤岛两大林场,至今刺槐林保存面积仍然达8 000 hm²^[1-2]。1977—2004年27 a间,黄河三角洲人工刺槐林面积有增有减,其中1987—1996年,面积增加了1 674.18 hm²;1996—2004年,面积减少了709.65 hm²^[3]。人工刺槐群落主要分布于由黄河泛滥改道所淤积形成的土地上,海拔约5 m,地下水埋深约3 m。土壤有机质、全氮和全磷的含量显著高于其它群落类型,土壤含盐量在0.3%以下。群落高度在7.5~15 m,盖度在45%~60%,伴生种有狗尾草(*Setaria viridis*)、茜草(*Rubia cordifolia*)、麦冬(*Ophiopogon japonicus*)等^[4]。

由于土壤次生盐渍化、天然降水不足、蒸降比大、黄河断流及人类干扰等诸多因素,20世纪90年代在黄河三角洲的许多地方出现了人工刺槐林枯梢或成片死亡的现象,为揭示该区域人工刺槐林的低质低效及林地衰退机理,许多学者对人工刺槐林的造林模式、林分配置、林冠健康及其土壤水盐动态、土壤理化性状等进行了研究^[1-2,5-9],但对其土壤水分生态特性研究较少。土壤容重、孔隙度、渗透性及蓄水性能等土壤水分生态指标不仅能够决定土壤中水、气、热和微生物状况,而且影响土壤中植物营养元素的有效性和供应能力,是土壤生态环境效益研究的重要内容之一,同时也是评价土壤质量的重要指标^[2,5-7]。为进一步揭示黄河三角洲人工刺槐林的退化机理及其土壤水分生态特性对退化程度的响应关系,本研究以不同退化程度的人工刺槐林为研究对象,测定分析不同退化程度下人工刺槐林地的土壤水文物理性状、土壤入渗特性及土壤贮水性能等指标,探讨不同退化人工刺槐林对土壤水分生态特性的影响,明确土壤层贮蓄、

调节水分的潜在能力对地力衰退的响应机制,为黄河三角洲人工刺槐林的人工促进恢复技术及其脆弱生态系统重建提供理论依据和技术支持。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

具体研究区位于黄河三角洲(117°32′—119°10′ E, 36°56′—38°12′ N)东营市河口区的孤岛林场和济南军区军马场生产基地,属于暖温带半湿润地区,大陆性季风气候,年均气温12.1℃,无霜期长达201 d,≥10℃的积温约4 200℃,年降水量500~600 mm,年蒸发量1 800 mm左右,春季是强烈的蒸发期,蒸发量占全年的51.7%。土壤以盐化潮土和滨海盐土为主,土壤盐分组成以氯化物为主,占可溶性盐总量80%以上,0—100 cm土体加权平均含盐量为0.58%,局部地段0.5%~1.0%,最高达3.56%,新淤地土壤含盐量较低,一般在0.3%以下。土壤pH值6.79~8.87,平均7.94;地下水埋深一般2~3 m,地下水矿化度10~40 g/L,高者达200 g/L^[7]。孤岛林场海拔3~5 m,是1978年以来新淤积形成的黄河滩地,总面积约3.15×10⁴ hm²,济南军区军马场紧邻孤岛林场,位于其西北,总面积约4.8×10⁴ hm²。两林场内现有近1.00×10⁴ hm²的人工刺槐林已面临更新改造,区域内人工植被以刺槐林为主,兼有白蜡(*Fraxinus chinensis*)林、杨树(*Populus euramericana*)林、柽柳(*Tamarix chinensis*)林等,天然植被以盐生、湿生的禾本科芦苇(*Phragmites communis*)、茅草(*Imperata cylindrica*)以及翅碱蓬(*Suaeda heteroptera kitagawa*)为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与样品采集 2009年7月中旬,在研究区采用多点采样法进行土壤样品的采集与测定^[10]。依据人工刺槐林的生长状况和立地条件,把整个林分划分为4种类型^[1-3]:未退化(基本不枯梢,郁闭度0.95)、轻度退化(枯梢高度1~1.5 m,郁闭度0.84)、中度退化(枯梢高度1.5~3.0 m,郁闭度0.70)和重度退化(枯梢高度3 m以上,郁闭度0.50)共4种类型,树龄均为25龄,株行距为2.5 m×3.0 m,平均树高11.5 m,平均胸径13.83 cm。在每退化样地内,分别选取0.09 hm²的标准地3个,每标准地按“S”型均匀布设6试验样点,分0—20 cm和20—

40 cm 两层进行采样与各指标的测定, 样品采集期间无降雨发生。

1.2.2 土壤水文物理参数测定 采用环刀浸水法测定土壤容重和孔隙度等各项水文物理参数^[10]。并由公式计算一定土层深度内的土壤吸持贮水量、滞留贮水量和饱和贮水量。即:

$$W_c = 1\ 000 \cdot P_c \cdot h$$

$$W_{nc} = 1\ 000 \cdot P_{nc} \cdot h$$

$$W_t = 1\ 000 \cdot P_t \cdot h$$

式中: W_c , W_{nc} , W_t ——分别为土壤水吸持贮水量、滞留贮存量 and 饱和贮水量(mm); P_c , P_{nc} , P_t ——分别为毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度(%); h ——计算土层深度(m), 本研究取值为 0.20 m。有机质测定采用重铬酸钾容量法。

1.2.3 土壤入渗特征测定 利用渗透筒法测定不同时段的土壤入渗率和制作入渗过程曲线。利用 SPSS 统计软件, 分别应用 Kostiakov 入渗模型、Horton 入渗模型和通用入渗模型拟合退化林地的土壤入渗过程, 求解初渗率、稳渗率等入渗特征参数。

2 结果与分析

2.1 土壤容重和孔隙度

由表 1 可知, 随着人工刺槐林退化程度的加剧, 其土壤容重表现出增大趋势, 疏松度减弱明显, 差异性显著($F = 85.58$, $P < 0.01$); 与此相反, 土壤总孔隙度、毛

管孔隙度及孔隙比, 均表现出降低趋势, 通气透水性能降低显著, 差异性显著($P < 0.01$), 而非毛管孔隙度差异性不显著($P > 0.01$)。与未退化刺槐林相比, 轻度、中度、重度退化下的林地土壤容重均值分别增加了 3.68%, 9.56%, 14.71%; 土壤总孔隙度分别降低了 2.38%, 4.86%, 9.57%。表明随着人工刺槐林的逐步退化, 其林地土壤的通气状况和透水性能减弱显著, 土壤中有效水的贮存容量减弱, 特别是重度退化下降明显。从土壤垂直结构来看, 由于不同退化类型下的土壤表层有一定的腐殖质层, 其土壤容重均低于 20—40 cm 土层, 总孔隙度和毛管孔隙度上层(0—20 cm)高于下层(20—40 cm), 表明该人工刺槐林用于维持自身生长发育的水分主要依靠土壤上层的吸持贮存^[9, 11]。而非毛管孔隙度除重度退化类型下, 其它均表现为上层低于下层, 表明重度退化类型下, 该刺槐林滞留水分发挥涵养水源和消减洪水的能力上层好于下层^[9, 11]。不同退化类型人工刺槐林土壤上层的孔隙比高于下层, 未退化上下层孔隙比最大为 1.11, 其它退化类型下为 1.04~1.09, 表明该人工刺槐林上层的通气透水性能好于下层。不同退化刺槐林地下土壤有机质含量差异显著($F = 69.78$, $P < 0.01$), 随着退化程度的加重, 有机质含量下降明显, 并且由于枯落物的分解作用, 上层有机质含量明显高于下层, 这与孔隙度的变化规律一致, 从而对其土壤容重的变化产生一定影响。

表 1 不同退化刺槐林地的土壤容重和孔隙度

退化类型		土壤容重/ ($g \cdot cm^{-3}$)	总孔隙度/ %	毛管孔隙度/ %	非毛管孔隙度/ %	孔隙比	有机质/ ($g \cdot kg^{-3}$)
未退化	I	1.32 ^e	50.20 ^a	44.93 ^a	5.27 ^a	1.01 ^a	15.20 ^a
	II	1.40 ^{cd}	47.69 ^{bc}	41.37 ^b	6.32 ^a	0.91 ^a	8.36 ^c
轻度退化	I	1.37 ^d	48.26 ^b	42.90 ^b	5.36 ^a	0.93 ^a	14.13 ^a
	II	1.45 ^c	47.31 ^{bc}	41.48 ^b	5.83 ^a	0.90 ^a	7.32 ^{cd}
中度退化	I	1.42 ^c	47.49 ^{bc}	42.16 ^b	5.33 ^a	0.90 ^a	10.15 ^b
	II	1.56 ^{ab}	45.65 ^e	40.25 ^b	5.40 ^a	0.84 ^b	6.13 ^d
重度退化	I	1.51 ^b	45.34 ^e	39.88 ^b	5.46 ^a	0.83 ^b	8.23 ^c
	II	1.60 ^a	43.19 ^f	38.88 ^b	4.31 ^a	0.76 ^c	3.25 ^e

注: I, II 分别表示土层深度为 0—20 cm, 20—40 cm; 每行数据后不同字母表示显著性差异达 0.01 水平。下同。

2.2 土壤入渗特征

由图 1 和表 2 可知, 随着人工刺槐林退化程度的加重, 土壤初始入渗率、稳渗率及平均入渗率均表现出降低趋势, 入渗实测参数差异性显著($P < 0.01$)。其中轻度、中度、重度退化类型下的初渗率、平均渗透率分别比未退化下降了 14.11%, 29.07%, 47.00%, 9.28%, 34.33%, 71.8%。表明轻度退化下土壤渗透性能减弱较小, 但随着退化程度的加重, 土壤入渗性

能表现出明显的减弱趋势。合适的入渗模型是研究植被调蓄水分功能的重要手段之一, 采用 3 种常用的入渗模型对试验资料进行拟合分析(图 1)。

(1) 考斯加科夫(Kostiakov)公式:

$$f = at^{-n}$$

式中: f , t ——入渗率和入渗时间; a , n ——经验参数。

(2) 霍顿(Horton)公式:

$$f = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$$

式中: f, f_0, f_c, t ——分别为入渗率、初渗率、稳渗率和入渗时间; k ——经验参数,决定着 f 从 f_0 减小到 f_c 的速度。

(3) 通用经验公式:

$$f = at^{-n} + b$$

式中: f, t ——分别为入渗率、入渗时间; a, b, n ——经验参数(b 相当于稳渗率)。

由表 2 和图 1 可知,3 种模型对不同退化程度下的人工刺槐林土壤入渗过程均能取得较好的拟合效果,能够反映渗透曲线的变化特征,其渗透曲线变化趋势一致可分为 3 个阶段,即渗透初期的渗透率瞬变阶段、其次为渐变阶段,随着时间的推移而下降,最后达到平稳阶段。采用 Kostiakov 模型拟合时, a 值在

18.10~25.56 之间,远高于实测初始入渗速率值; n 值在 0.41~0.79 之间,其大小反映了入渗率递减的状况, n 值越大,入渗率随时间递减越快,可见中度、重度退化类型下的人工刺槐林入渗率随时间递减程度高于未退化和轻度退化类型。采用 Horton 模型时, f_c 值在 0.53~3.90 mm/min,与实测值(0.60~4.02 mm/min)比较接近, k 值在 0.06~0.08 之间。而通用模型 b 值在 0.64~5.61 mm/min,远小于对应实测稳渗率,结合相关系数、实测初始入渗率、稳渗率值综合分析,可以看出 Horton 模型拟合精度较高,其拟合结果比 Kostiakov 模型和通用模型更接近于实测值,表明 Horton 模型比较适用于描述该退化人工刺槐林的土壤入渗特征。

表 2 不同退化刺槐林地的土壤入渗模型

退化类型	入渗实测参数/ (mm·min ⁻¹)		Kostiakov 模型参数			Horton 模型参数				通用模型参数			
	f_0	f_c	a	n	R^2	f_0	f_c	k	R^2	a	b	n	R^2
未退化	12.83 ^a	4.02 ^a	25.56	0.43	0.964	16.61	3.90	0.07	0.995	17.96	0.64	0.62	0.988
轻度退化	11.02 ^a	2.99 ^b	18.77	0.41	0.940	13.14	2.80	0.06	0.994	21.88	5.61	0.22	0.952
中度退化	9.10 ^b	1.79 ^c	18.10	0.51	0.959	10.94	1.59	0.06	0.999	18.83	4.08	0.27	0.974
重度退化	6.80 ^c	0.60 ^d	21.01	0.79	0.983	9.17	0.53	0.08	0.999	17.96	0.64	0.62	0.988

2.3 土壤贮水性能

数据分析表明,不同退化刺槐林地的饱和贮水量($F=193.62, P<0.01$)、吸持贮水量($F=86.14, P<0.01$)、滞留贮水量($F=87.62, P<0.01$)均表现显著性差异。由表 3 可知,随着人工刺槐林退化程度的加重,土壤吸持和滞留贮存水分表现出减弱趋势,并且土壤上层的贮水性能均高于土壤下层,饱和贮水量上下层之比为 1.02~1.05 之间。表明随着退化程度的加重,人工刺槐林在涵养水源和供给植物有效水利用方面减弱趋势加重,土壤上层由于腐殖质层相对较厚、根系微生物活动及枯枝落叶的分解影响,表现出更好的水分贮存及利用效能,但重度退化类型下,其土壤表层贮存水分能力较弱,不利于植物根系对水分的吸收。土壤 40 cm 饱和贮水量表现为:未退化>轻

度退化>中度退化>重度退化;轻度、中度、重度退化类型下分别比未退化下降了 2.37%, 4.85%, 9.56%;表明轻度、中度退化类型其供水能力和未退化相差不大,但重度退化类型下其涵养水源及供树木本身利用的土壤水分有效性较差。

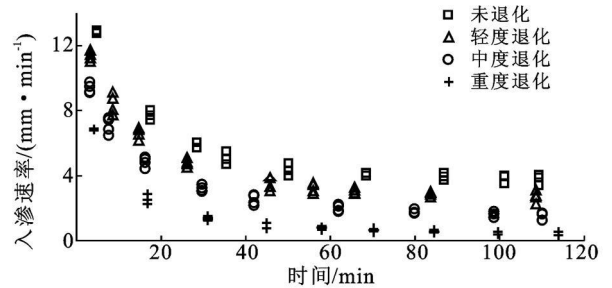


图 1 不同退化刺槐林地的土壤入渗过程

表 3 不同退化刺槐林地的土壤贮水指标

退化类型		饱和贮水量/mm	吸持贮水量/mm	滞留贮水量/mm	涵养降水量/mm	有效涵养量/mm
未退化	I	100.40 ^a	89.85 ^a	10.55 ^b	44.78 ^a	34.23 ^a
	II	95.38 ^b	82.75 ^{bc}	12.63 ^a	30.50 ^b	17.87 ^c
轻度退化	I	96.52 ^b	85.80 ^b	10.72 ^b	40.24 ^a	29.52 ^{ab}
	II	94.62 ^{bc}	82.96 ^{bc}	11.66 ^{ab}	26.44 ^c	14.78 ^c
中度退化	I	94.98 ^{bc}	84.32 ^b	10.66 ^b	34.70 ^b	24.04 ^b
	II	91.30 ^c	80.50 ^c	10.80 ^b	18.10 ^d	7.30 ^d
重度退化	I	90.68 ^c	79.76 ^c	10.92 ^b	26.49 ^c	15.57 ^c
	II	86.38 ^d	77.76 ^c	8.62 ^c	10.95 ^e	2.33 ^e

土壤蓄水性能与土壤前期含水量密切相关,本次测定时人工刺槐林土壤重量含水量差异不显著,均值为 $22.21 \pm 1.03\%$ 。当土壤湿度大时,土壤蓄水量减少,即使降雨量很小,也会产生地表径流。因此,把饱和和贮水量与土壤前期含水量之差作为衡量土壤涵蓄降水量的指标。毛管贮水量与土壤前期含水量之差反映供植物利用的潜在土壤有效蓄水,称其为有效涵蓄量,大小表现与土壤涵蓄降水量一致,均表现为:未退化>轻度退化>中度退化>重度退化。不同退化刺槐林地的涵蓄降水量、有效涵蓄量差异均显著($F=215.24, P<0.01; F=357.02, P<0.01$),与未退化相比,轻度、中度、重度退化类型下的涵蓄降水量、有效涵蓄量分别下降了 $11.43\%, 29.87\%, 50.26\%, 14.99\%, 39.87\%, 65.65\%$ 。表明随着人工刺槐林退化程度的加重,在减少地表径流、防止土壤侵蚀等方面的功能减弱,特别是重度退化类型下能够吸持供刺槐生长提供所必需的水分能力受到较大限制。在涵蓄降水量、有效涵蓄量上,不同退化类型下的人工刺槐林地均表现为上层大于下层,特别是有效涵蓄量随退化程度加重,上下层之比分别为 $1.92, 2.00, 3.29, 6.68$;表明土壤上层在水分入渗、涵蓄降雨能力及供给植物有效性水分等方面均好于土壤下层。

3 讨论

土壤容重和孔隙状况是土壤最重要的物理性质,能较好反映土体构造的虚实松紧,对土壤通气性、透水性和根系的伸展影响较大^[2, 11-13]。容重小的土壤,上层土壤水分容易蒸发,下层土壤水分容易渗漏,而容重太大的土壤则不利于降水渗入土壤,易造成径流损失。研究表明,适宜的土壤容重和孔隙度对于土壤保水是很重要的,一般土壤容重值多为 $1.00 \sim 1.50 \text{ g/cm}^3$,结构良好的土壤为 $1.25 \sim 1.35 \text{ g/cm}^3$;而黄河三角洲不同退化程度的人工刺槐林上、下层土壤容重分别为 $1.37 \sim 1.51 \text{ g/cm}^3$ 和 $1.45 \sim 1.60 \text{ g/cm}^3$,表明退化林地的土壤结构和性能表现出减弱趋势,随着退化程度的加重,通气透水性能降低显著。结构良好、水气关系协调的土壤总孔隙度为 $40\% \sim 50\%$,非毛管孔隙度在 10% 以上,非毛管孔隙度与毛管孔隙度比例在 $0.25 \sim 0.50$ 之间,而不同退化程度的人工刺槐林 40 cm 土壤总孔隙度均值在 $44.27\% \sim 47.79\%$,但非毛管与毛管孔隙度比例仅为 $0.12 \sim 0.13$,退化林地的非毛管孔隙数量明显偏低,土壤粘重、紧实,通气透水性能受到一定的限制,特别是重度退化类型下,非毛管孔隙度均值仅为 4.89% ,土壤的通气透水性和持水性能较差。随着退化程度的加重,

人工刺槐林的土壤容重增加,孔隙度降低,这与张建锋等对黄河三角洲生产基地第十二分场的退化林地研究结论一致^[2],即随着退化程度的加剧,土壤变的密实、土壤保水性能降低;但由于采样地点和树龄的不同,其退化林地的土壤容重比未退化增加 $5.75\% \sim 14.40\%$,总孔隙度降低 $7.4\% \sim 15.3\%$,而该研究退化林地的土壤容重比未退化增加 $3.68\% \sim 14.71\%$,总孔隙度降低 $2.38\% \sim 9.57\%$ 。土壤有机质能够促进植物生长,利于土壤微生物和动物的活动,对改善土壤物理性质作用较大。随着人工刺槐林退化程度的加重,其有机质含量下降明显,这在一定程度上限制了土壤微生物的活动,从而减缓了对其土壤物理结构的改良,表现在土壤孔隙度减小,容重增大,土壤渗透和贮水性能减弱显著。

土壤渗透性能直接影响水分在土壤中的运动状况,入渗速率是反映贮蓄水分和涵养水源功能的重要参数,植被通过改善地表土壤结构,从而促进降雨入渗、减少地表径流^[11, 13-14]。该研究表明,退化人工刺槐林地降低了对降水的初始入渗性能和土壤稳渗率,在一定程度上限制了较多的降水渗入土壤中储存,或形成壤中流、地下径流,保持水土、改良土壤的效能降低。Kostiakov模型、Horton模型及通用经验公式3种模型均能较好地反映退化人工刺槐林地的土壤入渗过程,模型参数分析表明,随着退化程度的加重,从初渗率减小到稳渗率的时间延长。Horton模型拟合精度较高,其拟合结果比Kostiakov模型和通用模型更接近于实测值。

吸持贮水量是水分依靠毛管吸持力在毛管孔隙中的贮存,其水分主要供给植物根系吸收、叶面蒸腾或土壤蒸发,主要反映植物吸持水分供其正常生理活动所需的有效水分^[11, 12-14]。重度退化类型下,吸持贮水量比未退化下降 8.74% ,降低了对植物有效利用的水分贮存,限制了刺槐根系对水分的吸收,抑制了其正常生理生态过程。滞留贮水量是饱和土壤中自由重力水在非毛管孔隙中的暂时贮存,其大小反映植被涵养水源功能的强弱^[11, 12-14]。与未退化相比,轻度、中度、重度退化林地地下滞留贮水量分别降低 $3.45\%, 7.42\%, 15.70\%$,退化程度的加重,减弱了土壤涵养水源的功能,降低了刺槐林地对降雨应急的水分贮存。结合涵蓄降水量和有效涵蓄量的综合分析,可知随着退化程度的加重,人工刺槐林地在降雨吸收、减少地表径流等方面的功能随之降低,贮存供植物生长提供所必需的水分也受到较大限制。

4 结论

(1) 随着人工刺槐林退化程度的加重,林地土壤

容重变大,土壤有机质、孔隙度、孔隙比等指标均有减小趋势,土壤物理性状逆向变化显著,退化林地的透水性、通气性和持水性降低,蓄水保土功效减弱。与未退化刺槐林相比,轻度、中度、重度退化下的林地土壤容重均值分别增加 3.68%, 9.56%, 14.71%;土壤总孔隙度分别降低 2.38%, 4.86%, 9.57%; 0—20 cm 土壤容重均低于 20—40 cm 土层。

(2) Horton 模型能够较好模拟退化人工刺槐林的土壤入渗过程,其渗透曲线可描述为渗透初期的渗透率瞬变阶段、渐变阶段,最后的平稳阶段。随着人工刺槐林退化程度的加重,其初始入渗率、稳渗速率均表现出降低趋势,明显降低了林木对降雨的快速贮存以及蓄洪与涵养水源作用,重度退化类型下土壤渗透性最差,不利于减弱地表径流、调节壤中流及地下径流。轻度、中度、重度退化类型下的稳渗速率值分别比未退化林地(4.02 mm/min)下降了 25.62%, 55.47%, 85.07%。

(3) 随着人工刺槐林退化程度的加重,土壤贮存水分和调节水分的潜在能力明显减弱,0—20 cm 土层的贮水性能均好于 20—40 cm,轻度、中度、重度退化类型下的 40 cm 饱和贮水量分别比未退化(195.78 mm)下降 2.37%, 4.85%, 9.56%。土壤吸持、滞留贮水量、土壤涵蓄降水量、有效涵蓄量均表现为:未退化>轻度退化>中度退化>重度退化,随着退化程度的加重,人工刺槐林地土壤供水性能、供给植物有效水利用、涵蓄降雨量及有效水分贮存等方面均表现出减弱趋势。

[参 考 文 献]

- [1] 刘庆生,刘高焕,姚玲. 利用 Landsat ETM⁺ 数据检测人工刺槐林冠健康[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(2): 142-146.
- [2] 张建锋,邢尚军. 环境胁迫下刺槐人工林地土壤退化特征研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1086-1091.
- [3] 张高生,王仁卿. 现代黄河三角洲生态环境的动态监测[J]. 中国环境科学, 2008, 28(4): 380-384.
- [4] 宋创业,刘高焕,刘庆生,等. 黄河三角洲植物群落分布格局及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2008, 27(12): 2042-2048.
- [5] 夏江宝,许景伟,陆兆华,等. 黄河三角洲滩地不同植被类型的土壤贮水功能[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 79-83.
- [6] 曹帮华,吴丽云. 滨海盐碱地刺槐白蜡混交林土壤酶与养分相关性研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 128-133.
- [7] 孙启祥,张建锋, Franz M. 不同土地利用方式土壤化学性状与酶学指标分析[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 98-101.
- [8] Bupalov V P, Os'kina I N V. The effect of soil hydrological conditions on the growth of natural and artificially planted Oak (*Quercus robur* L.) stands on the floodplain of the Ural River in its middle reaches[J]. Eurasian Soil Science, 2006, 39(4): 410-422.
- [9] Monika H, Stefan E, Bernd H, et al. Regionalizing soil properties in a catchment of the Bavarian Alps[J]. European Journal of Forest Research, 2009, 128(6): 597-608.
- [10] 骆洪义,丁方军. 土壤学实验[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1995: 35-89.
- [11] 赵鹏宇,徐学选,刘普灵,等. 黄土丘陵区不同土地利用方式土壤入渗规律研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(1): 40-44.
- [12] Herbst M, Diekkruger B, Vereecken H. Geostatistical coregionalization of soil hydraulic properties in a micro-scale catchment using terrain attributes[J]. Geoderma, 2006, 132(1/2): 206-221.
- [13] 王月玲,蒋齐,蔡进军,等. 半干旱黄土丘陵区土壤水分入渗速率的空间变异性[J]. 水土保持通报, 2008, 8(4): 52-55.
- [14] 王伟,张洪江,杜士才,等. 重庆市四面山人工林土壤持水与入渗特性[J]. 水土保持通报, 2009, 9(3): 113-117.