

不同生态修复措施下鲁中山区土壤的水文特征

郭静¹, 姚孝友², 刘霞¹, 张光灿¹, 袁利¹, 褚兴彬¹

(1. 山东农业大学林学院, 山东泰安 271018; 2. 水利部淮河水利委员会水土保持处, 安徽蚌埠 233001)

摘要: 为探索水土保持生态修复工程对土壤水文物理性质的改良作用, 研究了鲁中山区 4 种生态修复措施对土壤结构、土壤储水量和土壤入渗的影响。研究表明: ①各种修复措施对土壤水文物理性状都有明显的改善作用。具体表现在: 土壤中细颗粒物平均提高了 9.44%, 砂粒降低了 9.45%; 孔隙数量平均增多 1.7%, 土壤密度平均减小 0.63 g·cm⁻³; 土壤储水量平均增加了 6.8 mm; 土壤稳渗速率平均提高了 1.32 mm·min⁻¹。②4 种修复措施对土壤物理性状的改良程度不同, 改良作用最大的是荒坡造林, 其次是疏林补植和梯田封育, 最小的是荒坡封禁。③霍顿(Horton)入渗模型和通用经验入渗模型都能较好地反映研究区内 4 种生态修复措施前后的土壤入渗过程, 但霍顿(Horton)入渗模型的结果比通用经验模型的更接近于实测值。图 3 表 3 参 22

关键词: 恢复生态学; 土壤结构; 土壤储水; 土壤入渗; 水土保持

中图分类号: S714.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2008)03-0342-08

Soil hydrology with four of ecological restoration measures in a mountainous area of central Shandong Province

GUO Jing¹, YAO Xiao-you², LIU Xia¹, ZHANG Guang-can¹, YUAN Li¹, CHU Xing-bin¹

(1. College of Forestry, Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong, China; 2. Huai River Commission Ministry of Water Resources Soil and Water Conservation Department, Bengbu 233001, Anhui, China)

Abstract: To improve ecological restoration of soil physical properties, soil hydrology, before and after application of four ecological restoration measures (afforestation on barren slopes, supplemental plantings on open forest land, prohibiting access to terraced slopes being revegetated, and prohibiting access to barren slopes being revegetated) was studied in central Shandong Province with typical sample plot method for three replication. Then infiltration models including Horton's infiltration model, and universal infiltration model were tested to determine the best model. Results showed that with all four restoration measures the average fine-grained soil particles increased 9.44%, average sand content was a low 9.45%, soil fractal dimension increased about 1.7%, soil porosity increased 6.8 mm, soil density was a low 0.63 g·cm⁻³, soil water-holding increased, and soil infiltration increased about 1.32 mm·min⁻¹. Improvement was greatest for afforestation on barren slopes, intermediate for both supplemental planting on open forest land and prohibiting access to terraced slopes being revegetated, and lowest with prohibiting access to barren slopes being revegetated. With each ecological restoration type the Horton infiltration model was superior. [Ch, 3 fig. 3 tab. 22 ref.]

Key words: restoration ecology; soil configuration; soil water-holding; soil infiltration; soil and water conservation

收稿日期: 2007-06-13; 修回日期: 2007-09-10

基金项目: 水利部淮河水利委员会资助项目(2006-2007); 山东省水利厅资助项目(2004-2006)

作者简介: 郭静, 硕士研究生, 从事小流域综合治理及信息技术研究。E-mail: huilvyan@163.com, 通信作者: 刘霞, 副教授, 博士, 从事小流域综合治理和水土保持生态修复等研究。E-mail: liuxia@sdau.edu.cn

近年来,人们对自然资源尤其是对土地资源和植物资源的不合理开发利用,对生态系统的干扰强度远远超过了其自身尤其是植物系统的自我恢复能力。全国各地实施的封山育林,封山禁牧,建立自然保护区等措施,在增加地表覆盖,控制水土流失等方面起到良好效果。水利部总结了多年来水土保持实践的经验,对水土保持生态建设提出了生态修复的新思路,并在全国范围内实施水土保持生态修复试点工程。生态修复是一项复杂的系统工程,工作的关键是实施封禁保护措施,目的是恢复和保护植被,加快水土流失综合防治进度,突破口是退耕还林,以粮代赈,依靠的是大自然的自我修复能力和人与自然和谐相处理念与行动,根本是加强水土保持综合治理,解决好群众的生产生活问题,实质是保障广大人民的根本利益,为经济和社会的持续发展打下坚实的基础^[1]。到目前为止,有关生态修复工程实施的意义及对策、途径与措施、经验与建议^[2,3]以及生态修复区森林植被土壤水文效应的研究^[4-6]已有较多报道,但针对不同生态修复类型下土壤的水文生态效应研究相对较少。作者以山东省淄川区水土保持生态修复区为研究区域,在对修复区内不同立地类型实施疏林补植、荒坡造林、荒坡封禁和梯田封育等 4 种生态修复措施后,评价不同措施类型对土壤水文生态效应的改良功能,为生态修复区修复措施类型的合理选择提供参考。

1 研究区概况

生态修复区位于山东省淄川区东南部,在淄博市大型水库(太河水库)上游,属小清河水系淄河支流,区域涉及峨庄乡、淄河镇、东坪镇、张庄乡及太河乡 5 个乡镇,总面积为 278.02 km²,海拔高度 195~903 m。该区属暖温带大陆性半湿润气候,年均气温为 12.9℃,极端最高气温 40.5℃,极端最低气温 -20.2℃,无霜期 189 d,年日照时数 2 564 h,多年平均大风日数 28.1 d,年均降水量 664.0 mm(24 h 最大降水量为 170.0 mm),其中 60%~70%的降水集中在 6-9 月份。基岩主要是石灰岩和页岩,土壤类型主要为褐土类,土层浅薄(大部分为 20~40 cm),质地粗,肥力差,水土流失严重(土壤侵蚀模数超过 1 500 t·km⁻²·a⁻¹)。

植被类型主要有天然次生林、人工林和作物植被;森林植物群落主要有天然乔灌混交林、天然灌木林、人工针阔混交林及阔叶或针叶单纯林。乔木树种主要有刺槐 *Robinia pseudoacacia*,侧柏 *Platyclusus orientalis*,油松 *Pinus tabulaeformis*,赤松 *Pinus densiflora*,黄栌 *Cotinus coggygia*,辽东栎 *Quercus liaotungensis*,花椒 *Zanthoxylum bungeanun*,山楂 *Crataegus pinnatifida*,火炬树 *Rhus typhina* 等;灌木种有黄荆 *Vitex negundo*,胡枝子 *Lespedeza bicolor*,南酸枣 *Choerospondias axillaris*,连翘 *Forsythia suspensa*,紫穗槐 *Amorpha fruticosa* 等。

2 研究方法

在对项目区生态修复措施全面踏勘的基础上,根据立地类型、修复目的、作业方式和植被类型,将生态修复措施划分为 4 种类型(表 1)。在每种措施类型中选择 1 种典型植物群落(均处于阳坡中上部),各设置 3 个标准地(面积为 600 m²),分别于生态修复实施前(2002 年 5 月)和实施后(2005 年 5 月)对土壤粒径、土壤密度、土壤孔隙结构、土壤储水量和土壤入渗的变化进行调查与测定。

在所设定的标准地内,沿对角线随机选 5 个样点取平均值:①用机械筛分法(振筛法)测定土壤粒径质量分布^[7]:挖取 0~40 cm 层土壤样品,将同一标准地 5 个样点的土壤样品混合均匀后进行风干处理。先将土壤样品中大于 2 mm 的石砾筛出,然后应用南京土壤研究所生产的 ZBSX-92A 型震击式标准振筛机,分别通过孔径为 1.00, 0.50, 0.25, 0.10, 0.05 mm 的套筛,测定不同粒径范围土壤颗粒的相对(质量)含量。②用环刀法测定土壤密度和孔隙结构^[7]:先用环刀取原状土(每样点 3 次重复)后,室内测定土壤孔隙度和土壤密度,其中用烘干法测定土壤含水量,并由以下公式计算一定土层深度内的土壤最大吸持储水量、最大滞留储水量和饱和储水量。 $W_c(\text{mm})=1\ 000P_c h$; $W_{nc}(\text{mm})=1\ 000P_{nc} h$; $W_l(\text{mm})=1\ 000P_l h$ 。其中: W_c 、 W_{nc} 和 W_l 分别为土壤最大吸持储水量、土壤最大滞留储水量和土壤饱和储水量; P_c 、 P_{nc} 和 P_l 分别为毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度(%); h 为计算

土层深度(m)。③采用单环定水头逐次加水法测定土壤的入渗速率^[7],并且利用SPSS统计软件,分别应用霍顿(Horton)入渗模型和通用(一般)入渗模型拟合各种生态修复类型的土壤下渗过程,求解初渗速率、稳渗速率等入渗特征参数。

表1 项目区生态修复措施及典型植物群落概况

Table 1 General situation of plant community in different ecological restoration measure types

生态修复措施类型	植物群落	主要植物种类	乔木郁闭度	灌草盖度
疏林补植前	人工疏林	侧柏, 羊胡子草, 毛叶丁香	0.2	0.3
疏林补植后	人工纯林	侧柏, 羊胡子草, 毛叶丁香, 紫花地丁	0.5	0.6
荒坡造林前	天然灌草	南酸枣, 胡枝子, 羊胡子草, 狗牙根		0.5
荒坡造林后	人工乔灌草	侧柏, 火炬树, 南酸枣, 胡枝子, 羊胡子草, 狗牙根	0.3	0.6
荒坡封禁前	天然灌草	南酸枣, 胡枝子, 连翘, 羊胡子草, 狗牙根		0.5
荒坡封禁后	天然灌草	南酸枣, 胡枝子, 连翘, 羊胡子草, 狗牙根		0.8
梯田封育前	人工乔灌	花椒, 山楂, 南酸枣, 胡枝子	0.5	0.2
梯田封育后	人工乔灌草	花椒, 山楂, 南酸枣, 胡枝子, 羊胡子草, 山麦冬	0.6	0.6

3 结果与分析

3.1 土壤结构特征

3.1.1 土壤颗粒组成特征 不同修复措施实施前后土壤的粒径分布见表2。

表2 各种生态修复措施土壤中不同粒径范围土粒的质量与总质量百分比

Table 2 Soil particle size distribution in different ecological restoration measures (over size mass ratio)

生态修复措施类型	植物群落	不同土粒粒径(mm)土壤的质量百分比/%						
		石砾	粗砂粒			细砂粒		粉粒、黏粒
		2.00~1.00	1.00~0.50	0.50~0.25	0.25~0.10	0.10~0.05	<0.05	
疏林补植前	人工疏林	44.71	24.06	18.98	8.72	2.17	1.34	
疏林补植后	人工纯林	39.68	26.10	16.19	12.82	2.55	2.67	
荒坡造林前	天然灌草	37.39	25.79	28.38	6.51	0.46	1.47	
荒坡造林后	人工乔灌草	23.95	30.06	16.09	21.11	4.92	3.87	
荒坡封禁前	天然灌草	29.93	22.21	28.35	14.10	2.08	3.33	
荒坡封禁后	天然灌草	34.73	25.90	20.92	13.66	1.37	3.39	
梯田封育前	人工乔灌	43.14	30.21	17.87	6.49	0.28	1.99	
梯田封育后	人工乔灌草	23.91	29.67	26.05	14.85	0.85	4.67	

从表2可以看出:各种土壤以粗砂粒含量最高(42.29%~55.72%),其次是石砾含量(23.91%~44.71%)和细砂粒含量(6.77%~26.03%),而粉粒及黏粒含量很少(1.34%~4.67%),具有北方石质山地所发育土壤砂粒含量高,细粒物质含量少和结构松散等典型的粗骨性特征。按中国土壤质地分类标准^[8,9],其质地均属于多砾质粗沙土的范畴,土壤通透性与保蓄性很不协调,存在着通透性好与保蓄性差的突出矛盾。另外,在生态修复实施后,土壤粒径分布状况较实施前发生明显变化。除了荒坡封禁外,在疏林补植、荒坡造林和梯田封育3种修复措施的土壤中,石砾和粗砂砾含量降低,而细沙粒和粉粒及黏粒含量增加。例如:荒坡造林后,石砾和粗砂砾含量较造林前分别降低了13.4%和8.0%,而细沙粒和粉粒及黏粒分别增加了19.1%和2.4%。表明不同修复措施可以有效地增加土

壤中细粒物质的含量, 改善土壤物理结构, 提高土壤保蓄性。

3.1.2 土壤孔隙结构特征 生态修复前后各种的土壤孔隙度见图 1。从图 1 可以看出: 修复前土壤总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度范围分别为 40.0% ~ 43.8%, 13.5% ~ 16.1% 和 25.4% ~ 28.4%; 修复以后为 41.9% ~ 46.4%, 13.7% ~ 16.5% 和 27.5% ~ 30.8%。从土壤孔隙度的提高率(修复后孔隙度提高值与修复前孔隙度的比值)看, 按上述措施顺序, 毛管孔隙的为 11.3%, 8.4%, 8.1% 和 5.1%, 非毛管孔隙的分别为 3.6%, 1.9%, 2.5% 和 1.3%, 前者是后者的 3 ~ 5 倍。表明各种措施实施后, 都明显提高了土壤孔隙度, 但不同措施对孔隙度的提高程度有一定的差别, 对毛管孔隙度的提高程度明显大于非毛管孔隙度(前者是后者的 5 ~ 10 倍)。

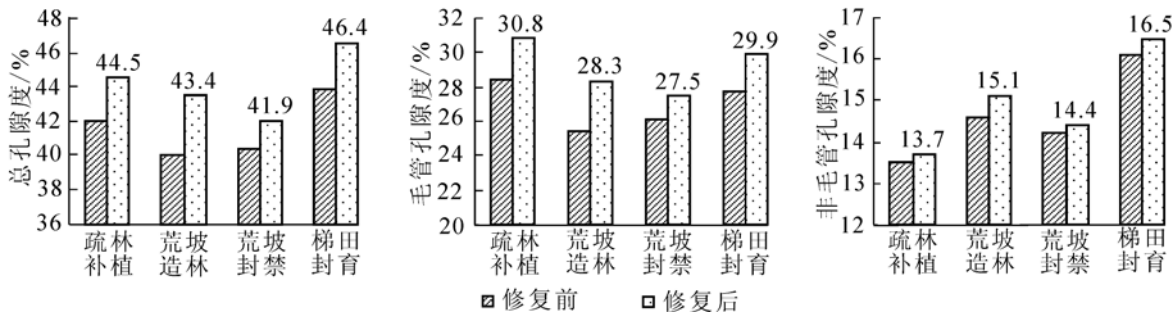


图 1 不同生态修复措施类型的土壤孔隙度

Figure 1 Soil porosity under different ecological measures

土壤孔隙按其当量直径大小可分为毛管孔隙与非毛管孔隙。前者反映土壤吸收和保持水分, 用于维持植物生长发育的能力, 决定着土壤保(肥)蓄(水)功能的高低; 后者表征土壤滞留和下渗水分, 发挥水源涵养作用的能力, 决定着土壤通(气)透(水)功能的强弱^[10,11], 两者的数量及比例决定着土壤孔隙与水肥状况。研究表明: 结构性良好, 水-气关系协调的土壤, 总孔隙度为 40% ~ 50%, 非毛管孔隙度在 10% 以上, 非毛管与毛管孔隙度比例在 1:2 ~ 4。与这些结果相比, 该研究区土壤的总孔隙度(均大于 40%)并不低, 但非毛管与毛管孔隙度比例修复前为 1:1.7 ~ 2.1 (平均 1:1.8), 修复后为 1:1.8 ~ 2.2 (平均 1:2.0), 说明毛管孔隙数量和土壤保蓄能力明显偏低。因此, 毛管孔隙度的提高能更有效地改善大小孔隙比例和孔隙结构。很显然, 从不同措施对孔隙度(尤其是毛管孔隙度)的提高值和提高率(图 1)看: 改良土壤孔隙结构作用最大的是荒坡造林, 其次是疏林补植和梯田封育, 作用最小的是荒坡封禁。

3.1.3 土壤密度 生态修复前后各种土壤密度值见图 2。可以看出: 修复前的土壤密度为 1.49, 1.54, 1.58, 1.59 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$; 修复后的为 1.42, 1.47, 1.50, 1.54 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。各种措施实施后的土壤密度较修复前均有所降低, 但不同措施降低的程度有所差别。土壤密度降低率(密度降低值与修复前密度的比值)为: 荒坡造林 5.9%, 疏林补植 4.7%, 梯田封育 4.9%, 荒坡封禁 2.6%。

土壤密度作为最基本的土壤物理性质之一, 综合反映了土壤质地、松紧性、孔隙性、通透性和保蓄性等土壤水文物理性状。非人为干扰下, 土壤密度主要受土粒密度(矿物组成)和孔隙数量两方面内在因素的影响。密度值越大的土壤, 孔隙数量越少, 反之亦反。一般土壤的密度值多为 1.0 ~ 1.5 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 结构良好的土壤为 1.25 ~ 1.35 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。与此相比, 该研究区土壤密度值(修复前后平均值分别为 1.55 和 1.48 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)存在明显偏高的问题。因此, 对土壤密度值降低越大的修复措施, 改良土壤结构与性能的作用越强。很显然, 从 4 种措施对土壤密度的降低值和降低率看: 降低密度作用最大的是荒坡造林, 其次是疏林补植和梯田封育, 最小的是荒坡封禁。

3.2 土壤储水特征

生态修复前后各种的土壤储水量见图 2。从图 2 可以看出: 修复前土壤饱和储水量、吸持储水量和滞留储水量范围为 160.0 ~ 175.0, 101.6 ~ 113.6 和 54.0 ~ 64.4 mm; 修复以后为 167.0 ~ 185.0,

110.0 ~ 123.2 和 54.8 ~ 66.0 mm, 修复后均有所提高。按疏林补植、荒坡造林、荒坡封禁和梯田封育措施的顺序, 从土壤吸持储水量的提高率(修复后吸持储水量的提高值与修复前的比值)看, 吸持储水量的为 8.45%, 11.42%, 5.36% 和 7.94%, 滞留储水量的为 1.48%, 3.42%, 1.41% 和 2.48%。表明各种措施实施后, 都明显提高了土壤的储水量, 但不同措施对土壤储水量的提高程度有一定的差别。很显然, 各种修复措施对吸持储水量的提高程度明显大于滞留储水量(前者是后者的 3~6 倍)。

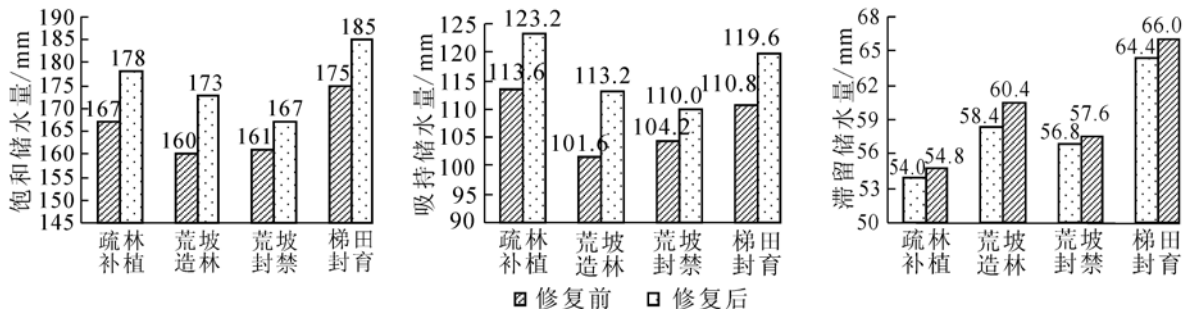


图2 不同生态修复措施类型的土壤储水量

Figure 2 Soil water-holding under different ecological restoration measures

林地土壤是储存降水的主要场所, 森林植被直接影响到森林土壤的发育, 土壤层是巨大的水分储蓄库和水文调节器。土壤水分储存作为重要的森林水文过程和功能之一, 对森林流域的径流形成机制和水源涵养功能具有十分重要的影响, 林分的水源涵养能力主要取决于土壤的持水性能。由于立地类型的不同, 所造成的林地表层的枯落物构成、地下根系的分布和生长发育的不同, 也会间接影响到森林土壤蓄水能力的不同^[12,13]。很显然, 从4种措施对土壤储水量的提高值和提高率看(图2): 作用最大的是荒坡造林, 其次是疏林补植和梯田封育, 最小的是荒坡封禁。

3.3 土壤入渗特征

3.3.1 土壤入渗速率 生态修复前后的土壤入渗速率曲线见图3。从图3可以看出: 修复前土壤的稳渗速率范围为 2.40 ~ 3.30 mm · min⁻¹, 修复后土壤的稳渗速率范围为 3.40 ~ 4.49 mm · min⁻¹。按疏林补植、荒坡造林、荒坡封禁和梯田封育的顺序, 从土壤稳渗速率提高率(稳渗速率提高值与修复前稳渗速率的比值)来看, 分别提高了 36%, 72%, 42%, 32%。由此可知, 各种修复措施实施后土壤的稳渗速率较修复前均有所提高, 但不同措施提高的程度有所差别, 各种修复措施实施后, 对土壤稳渗速率的提高作用最大的是荒坡造林, 其次是疏林补植和梯田封育, 最小的是荒坡封禁。

土壤入渗速率调节着进入土壤, 积存于地表面或产生地表径流的水量。进入土壤的水分或通过土壤蒸发, 植物蒸腾返回大气或向下渗漏(土体内径流或进入地下水)^[14]。因此, 土壤入渗是反映林地涵养水源能力的重要水文指标, 可以通过土壤入渗的观测来探讨森林植被保持水土、涵养水源功能, 入渗速率高的土壤, 可以保证较多的降水渗入土壤中储存, 或形成壤中流、地下径流, 减少地表径流的损失^[15]。

天然状况下土壤入渗是一个比较复杂的物理过程, 除了降水因素和人为因素影响外, 主要受到流域下垫面状况(地形、植被状况等)和土壤物理性质(机械和水分物理性质等)等的影响, 在其他条件相同时, 下垫面的植被状况及其对土壤物理性质的改善作用, 尤其是对土壤非毛管孔隙状况的改善作用是决定土壤入渗的重要因素^[16], 本研究对此不进行详细论述。

3.3.2 土壤入渗模型 土壤的入渗性能不仅直接影响着大气—植物—土壤连通体中水分循环、地表径流的数量, 而且影响着植物根区的水分状况, 改善土壤的入渗性能对于防止以超渗产流为主要侵蚀动力的土壤流失, 提高森林植物的生产力等均具有重要的生态、经济和社会效益, 而合适的入渗模型是研究森林植被保持水土、涵养水源功能的重要手段。自20世纪以来已有不少研究者提出了许多半理论、半经验甚至纯经验的入渗模型^[17,18]。常用的有以下几种: ①通用经验公式: $f = at^{-n} + b$ 。f和t分别为初渗速率和入渗时间, a, b, n均为经验参数(b相当于稳渗率)。②菲利普(Philip)公式: $f =$

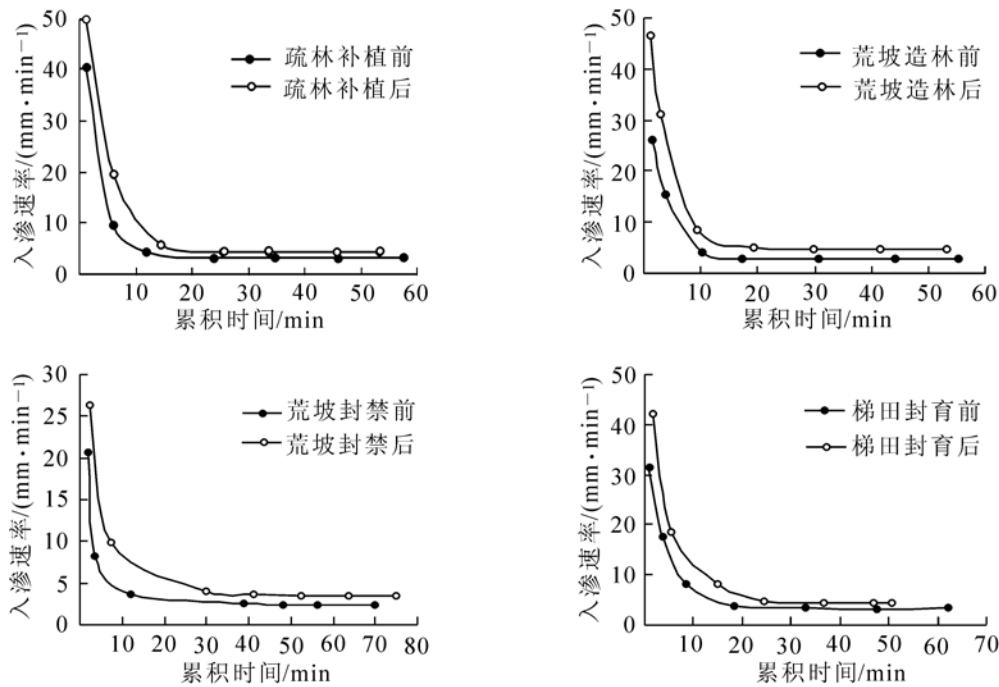


图 3 不同生态修复措施类型的土壤入渗速率

Figure 3 Soil infiltration under different ecological restoration measures

$(1/2)St^{(-1/2)} + A$, 其中: f , S 和 t 分别为入渗率、吸水率和入渗时间, A 为经验参数(相当于稳渗率)。
 ③霍顿(Horton)公式: $f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$, 其中 f , f_0 , f_c 和 t 分别为入渗率、初渗率、稳渗率和入渗时间, k 为经验参数。

从已有的研究看, 菲利普(Philip)公式对鲁中山区入渗速率的拟合效果较差, 不适合本区域。因此, 笔者采用霍顿(Horton)经验公式和通用经验公式进行拟合。不同修复措施下各林分类型的土壤入渗实测值和拟合值的对比如表 3。

表 3 各种生态修复措施土壤入渗特征实测值和拟合值的对比

Table 3 The contrast of fact number and experimental number about soil infiltration character in different ecological restoration measures

生态修复措施类型	生态修复时期	入渗实测参数/ (mm·min ⁻¹)		Horton 模型 $f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$ 参数				通用模型 $f = at^{-n} + b$ 参数			
		f_0	f_c	f_0	f_c	k	R^2	a	b	n	R^2
疏林补植	补植前	40.58	3.16	66.76	3.06	0.56	0.999	34.76	2.62	1.04	1.000
	补植后	49.89	4.18	39.57	4.20	0.33	1.0	32.68	1.63	0.78	0.997
荒坡造林	造林前	26.18	2.74	36.47	2.63	0.25	1.0	35.68	3.11	0.53	0.986
	造林后	46.46	4.73	62.69	4.95	0.41	0.999	44.18	2.60	0.58	0.999
荒坡封禁	封禁前	20.63	2.40	48.02	2.54	0.77	1.0	17.76	1.11	0.99	0.995
	封禁后	26.33	3.40	239.8	3.42	1.49	1.0	15.09	2.08	1.06	0.997
梯田封育	封育前	31.30	3.30	50.90	3.29	0.46	1.0	38.01	0.29	0.76	0.995
	封育后	42.08	4.49	62.60	4.55	0.50	1.0	38.22	0.17	0.75	0.995

由表 3 可知, 从拟合的稳渗速率参数看, 霍顿(Horton)入渗模型和通用经验入渗模型都能较好地反映研究地区各种森林植被的土壤入渗过程, 其中霍顿(Horton)入渗模型的结果比通用经验模型的更

接近于实测值,表明霍顿(Horton)经验公式是比较适用于描述本研究区域森林植被土壤入渗特征的模型。

4 结论与讨论

在采取疏林补植、荒坡造林、荒坡封禁和梯田封育等4种修复措施后,各林地土壤中细粒物质含量提高,砂粒含量降低;孔隙(尤其是毛管孔隙)数量增多,土壤密度减小;土壤储水量(尤其是吸持储水量)增加;土壤稳渗速率增加。

4种修复措施对土壤物理性状的改良作用最大的是荒坡造林,其次是疏林补植和梯田封育,最小的是荒坡封禁。

尽管单环入渗的试验条件(积水入渗)与野外降水条件下的入渗条件有较大差别,所测定的稳定入渗率一般远大于常规降雨条件下的稳渗率。但所测定的入渗过程几乎只与土壤物理性状(孔隙度、含水量和孔隙大小形状等)有关,也几乎不直接与坡度发生作用,因而能单一的反映不同林分类型入渗性能的相对大小。从拟合的稳渗速率参数看,霍顿(Horton)入渗模型的结果比通用经验模型的更接近于实测值,表明霍顿(Horton)经验公式是比较适用于描述该研究区域森林植被土壤入渗特征的模型。

从所测的数据来看,各样地土壤的水文物理性状均较差,低于一般林地的水平。采取4种不同的生态修复措施,有效地改良了上述样地土壤的水文效应。由于荒坡土壤的物理性状较差,在采取了造林措施后,其改良效果最明显,而仅仅对其实行封禁措施的样地改良效果较差。

山丘区生态修复措施对土壤的改良作用可概括为2条途径:一是修复活动对土壤的直接影响,主要表现为造林整地措施对土壤的改良,对土壤侵蚀地形因子的控制(如降低坡度、截短坡长等)作用。二是修复活动对土壤的间接影响,主要体现在封山禁牧对土壤和植被的保护,加快植被恢复过程及其土壤改良功能。两者的作用特点不同,前者见效较快、但效应时间较短,后者则相反。在生态修复实施后的头几年(本研究为3a),4种措施的作用途径和特点不同,荒坡造林与疏林补植以第1条途径为主,而梯田封育和荒坡封禁则以第2条为主。这可能是导致4种修复措施土壤改良程度不同的重要原因。随着生态修复的延续,各种修复措施第2条途径的作用会日益增加。

生态修复应遵循人与自然和谐相处的原则,控制人类活动对自然的过度索取,停止对大自然的肆意侵害,依靠大自然的力量实现自我修复^[19]。在经济较落后,交通闭塞,自我发展能力欠缺,资金注入有限的条件下,植被的自然恢复具有重要的地位和作用^[20],但为减轻生态系统的超负荷压力,有必要实行人工的生态修复管理,生物措施和水保工程辅助措施^[21],使最新的水保技术应用于实践中,加速生态修复,从而力争使自然能力与人为措施达到完美结合,确保效益最大。

此外,还要考虑生态修复的自然原则和美学原则等,但是,任何原则都是建立在以人为本,人与自然和谐相处这一最基本的原则基础之上的,实施生态修复的基础是退化生态系统的现有状态,因此,应因地制宜地实施区域的生态修复措施^[22]。

参考文献:

- [1] 焦居仁. 生态修复的要点与思考[J]. 中国水土保持, 2003(2): 1-2.
- [2] 何长高. 关于水土保持生态修复工程中几个问题的思考[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(3): 99-102.
- [3] 毛德华, 夏军, 黄友波. 西北地区生态修复的若干基本问题探讨[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 15-28.
- [4] 余新晓, 牛健植, 徐军亮. 山区小流域生态修复研究[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(1): 4-10.
- [5] 杨洪晓, 卢琦, 吴波. 青海共和盆地沙化土地生态修复效果的研究[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(2): 7-12.
- [6] 崔鹏, 王道杰, 韦方强. 干热河谷生态修复模式及其效应[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(3): 60-64.
- [7] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 511-525.
- [8] 熊毅, 李庆远. 中国土壤[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 1990: 12-16.
- [9] 林大仪. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002: 57-357.

- [10] 张治国, 张云龙, 刘徐师. 林业生态工程学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999: 63-65.
- [11] 于志民, 余新晓. 水源涵养林效益研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999: 45-55.
- [12] 郑郁善, 管大耀, 李仁昌. 杉木毛竹混交林水源涵养能力研究[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(1): 63-68.
- [13] 龙午, 杨云华, 王克勤, 等. 云南尖山河流域不同植被类型的蓄水能力[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(2): 135-139.
- [14] 郭忠升, 吴钦孝, 任锁堂. 森林植被对土壤入渗速率的影响[J]. 陕西林业科技, 1996(3): 27-31.
- [15] 张光灿, 夏江宝, 王贵霞, 等. 鲁中花岗岩山区人工林土壤水分物理性质[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 44-48.
- [16] 高甲荣, 肖斌, 张东升, 等. 国外森林水文研究进展评述[J]. 水土保持学报, 2001, 15(5): 60-75.
- [17] PHILIP J R. Theory of infiltration about sorptivity and algebraic infiltration equations [J]. *Soil Sci*, 1957, 84(4): 257-264.
- [18] SMITH R E. The infiltration envelope results from a theoretical infiltromete [J]. *J Hydrol*, 1972, 17(1): 1-21.
- [19] 左长清. 实施生态修复几个问题的探讨[J]. 水土保持研究, 2002, 9(4): 4-7.
- [20] 喻理飞, 朱守谦, 祝小科, 等. 退化喀斯特森林恢复评价和修复技术[J]. 贵州科学, 2002, 20(1): 7-13.
- [21] 胡根华. 关于加快江西省旅游区水土保持生态修复技术研究的思考[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(3): 108-110.
- [22] 焦士兴. 关于生态修复几个问题的探讨[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 127-129.

浙江林学院启动实施全球首个毛竹林碳汇项目

2008年4月3日, 由浙江林学院实施的全球首个毛竹林碳汇项目——中国绿色碳基金临安毛竹林碳汇项目正式启动。该项目将在浙江临安藻溪镇严家村、松溪村营造毛竹碳汇林 50 hm², 在项目实施 25 a 内预计可固碳 5 000 t, 从而减少大气中的温室气体, 改善环境。该毛竹林碳汇项目由浙江林学院常务副校长周国模教授主持, 森林经理学科和土壤学科有关教师参加。

据悉, 浙江林学院的科研人员经过多年研究发现: 竹林的固碳能力十分巨大, 毛竹林的年固碳量为 5.09 t·hm⁻², 是杉木的 1.46 倍、热带雨林的 1.33 倍。这一研究成果, 不仅得到了国内外专家的认可, 也得到国家林业局等单位的支持, 获得了中国绿色碳基金的资助, 并由浙江林学院负责在浙江临安实施毛竹林碳汇项目。

该项目主要包括: 毛竹林碳汇计量技术研究、毛竹采伐利用的碳平衡及碳转化研究等。项目对于准确计算我国的竹林碳汇和森林生态系统对全球碳平衡的贡献量等具有重要意义, 可为中国森林资源碳汇提供重要的资料和数据, 并将提升我国在碳交易国际谈判中的地位。