

白石砬子自然保护区几种主要植被类型土壤入渗特性研究

吕刚¹, 顾宇书^{2*}, 魏忠平², 刘红民², 韩友志², 高英旭²

1. 辽宁工程技术大学环境科学与工程学院, 阜新 123000; 2. 辽宁省林业科学研究院, 沈阳 110032

摘要: 为了深入研究辽东山区森林土壤的水源涵养功能, 以白石砬子自然保护区内的6种主要植被类型下土壤为研究对象, 采用野外双环试验和室内理化性质分析相结合的方法, 研究了不同植被类型下土壤入渗能力及其与理化性质的关系。结果表明, 不同植被类型土壤的初渗率、稳渗率、平均入渗率、渗透总量均表现为下层低于上层, 最大值是最小值的近3倍; 不同植被类型间土壤入渗能力差异较大, 其中A层初渗率排列顺序为原生红松阔叶混交林>红松人工林>鱼鳞云杉臭冷杉林>农地>蒙古栎林>杂木林, B层初渗率排列顺序为鱼鳞云杉臭冷杉林>农地>杂木林>红松人工林>原生红松阔叶混交林>蒙古栎林, A层稳渗率排列顺序为红松人工林>鱼鳞云杉臭冷杉林>原生红松阔叶混交林>杂木林>蒙古栎林>农地, B层稳渗率以杂木林最大, 为3.8 mm·min⁻¹, 原生红松阔叶混交林最小, 仅为1.1 mm·min⁻¹, 其他4种植被类型土壤稳渗率几乎无差异, A层平均入渗率排列顺序为红松人工林>原生红松阔叶混交林>鱼鳞云杉臭冷杉林>杂木林>蒙古栎林>农地, B层平均入渗率排列顺序为杂木林>鱼鳞云杉臭冷杉林>红松人工林>蒙古栎林>农地>原生红松阔叶混交林, A层的渗透总量以红松阔叶混交林和红松人工林最大, 蒙古栎林和农地相对较低, B层的渗透总量以杂木林最大, 红松阔叶混交林最小; 主成分分析评价的土壤入渗能力排序为红松人工林>鱼鳞云杉臭冷杉林>原生红松阔叶混交林>杂木林>蒙古栎林>农地, 初渗率、稳渗率、平均入渗率和渗透总量等4个指标综合起来能够很好的表达土壤入渗能力, 其主成分方差的累积贡献率为90.662%; 不同层次土壤入渗速率与入渗时间均存在良好的幂函数关系; 土壤的稳渗率、平均入渗率、渗透总量与非毛管孔隙度呈显著正相关关系, 初渗率与非毛管孔隙度存在相关性, 但不显著。与容重存在负相关关系, 但不显著。

关键词: 土壤入渗; 土壤水文; 水源涵养; 主成分分析; 白石砬子

中图分类号: S152.7

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 05-0780-07

引用格式: 吕刚, 顾宇书, 魏忠平, 刘红民, 韩友志, 高英旭. 白石砬子自然保护区几种主要植被类型土壤入渗特性研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 780-786.

LÜ Gang, GU Yushu, WEI Zhongping, LIU Hongmin, HAN Youzhi, GAO Yingxu. Study on soil infiltration characteristics under several typical vegetation in Baishilazi Nature Reserve [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(5): 780-786.

土壤入渗是指降水或灌溉水由地表进入土壤的过程, 属土壤水运动的一部分, 是“四水”转化的中心环节^[1-2], 并与地表产流、降雨后土壤水分再分配、农田水分最优调控^[1,3]、土壤侵蚀、养分随水分的迁移、农业面源污染等问题密切相关。入渗到土壤中的水分除少量在深层渗漏以外, 其绝大部分都直接转化为土壤水储存在“土壤水库”中, 但在雨强较大的情况下, 由于受到土壤本身入渗特性的影响, 降雨降落到地面上不能及时入渗到土壤中而是以地表径流的形式流走, 导致了水土流失的发生。而森林土壤是森林生态系统水分的主要蓄库, 系统中的水文过程大多是通过土壤作为媒介而发生的, 林地土壤水分对植物—大气、大气—土壤和土壤—植物3个界面物质和能量的交换过程有着重要的控制作用, 直接影响到土

壤水分入渗、林地蒸散和流域产流, 其能力对调节洪水和干旱、减弱并防止土壤侵蚀具有重要作用。国内已有学者从土壤入渗性能、影响因素、入渗模型等方面对我国不同地域的森林土壤入渗特性进行了研究, 并取得了一些研究成果^[4-16]。

白石砬子自然保护区是宽甸满族自治县的蒲石河、牛毛生河、北股河和南股河的发源地, 四条河水量丰富且水质较好, 区内分布着各种天然植被和人工植被, 其林下土壤水源涵养发挥其生态效益直接关系到辽宁中部地区的生产生活, 因此, 研究保护区内典型植被下土壤入渗特性对于深入探究森林水源涵养功能具有重要意义。本研究利用野外原位试验和室内分析相结合的方法, 选择保护区内6种典型植被下土壤进行双环入渗试验, 从土壤因子的角度分析白石砬子自然保

基金项目: 国家林业公益性行业专项 (200904064)

作者简介: 吕刚(1979年生), 男, 讲师, 博士研究生, 主要从事土壤水文方面的教学和科研工作。E-mail: lvgang2637@126.com

***通信作者:** 顾宇书(1955年生), 男, 教授, 主要从事森林植被建设方面的科研工作。

收稿日期: 2013-03-05

保护区森林土壤入渗性能,以期对深入研究区域尺度的森林水文过程机制问题提供基础数据,同时为白石砬子自然保护区水源涵养林的营造和树种的选择提供理论依据。

1 研究区概况

白石砬子自然保护区位于辽宁东部山区(E 124°44'07"~124°57'30", W 40°50'~40°57'12"),宽甸满族自治县北部的大川头、灌水、双山子、八河川 4 个乡的交界处,以主峰四方顶为中心呈辐射状向四周延伸,保护区总面积 7 467 hm²,属于温带大陆性季风气候,冬季比较寒冷,夏季温暖湿润,冬夏、春秋昼夜温差变化较大,年平均蒸发量 885 mm,年均气温 6.4 °C,极端最高温度 34.7 °C,极端最低温度-36.7 °C,年均日照时数 1 841.3h,无霜期 132 d,年均降水量 1 158 mm,年均相对湿度 73%,雨热同季,集中于 7—9 月。本区属长白山余脉千山山系,区内岭谷相间,纵横交错,主峰四方顶海拔 1 270.5 m,区内最低海拔 404 m,相对高差 866.5 m。土壤分布大体以海拔 850 m 为界,海拔 850 m 至最高峰 1 270 m 之间的针阔混交林林下的土壤为山地暗棕色森林土,土类成土母岩主要为花岗岩、变质岩,成土母质几乎全是残积类型或是在这个类型基础上受到坡积的影响;海拔 850 m 以下为阔叶杂木林内的土壤为山地棕色森林土,成土母质为花岗岩的风化物为主,由于受到较为频繁的人为活动的影响,棕色森林土的自然植被以天然次生林为主。植物区系处于长白、华北植物区系交汇地带,因此该区植物种类具有南北混合相互过渡的明显特点,以温带分布类型占绝对优势,现有高等植物 249 科,759 属,1 841 种,森林景观划分为针阔混交林、阔叶杂木林、典型阔叶林等三个类型组^[17]。

2 研究方法

2.1 标准地布设

研究地点选择位于保护区东北的黑沟实验区

范围内,天然林选择针阔混交林类型组中的鱼鳞云杉臭冷杉林(Form. *Abies nephrolepis* and *Picea jezoen*, *s-s*Calx.)、原生红松阔叶混交林(korean pine broadleaf mixed forest),阔叶杂木林类型组中的天然杂木林(Form. *spinney*),典型阔叶林中的蒙古栎林(*Quecusmongolica*),人工林选择红松人工林(Form. *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.),在每个林型分别布设 20 m×20 m 的标准地,以农地为对照,记录坡度、坡向、坡位、海拔,确定主要乔木树种、郁闭度、植物总盖度。标准地基本概况见表 1。

2.2 土壤理化性质测定

在标准地内选择有代表性的地段挖掘土壤剖面,按照土壤自然发生层次取 A、B 层原状土样,每层取 3 个重复,容重、总孔隙度、毛管孔隙度测定采用环刀法,土壤含水量采用烘干法,有机质采用重铬酸钾法。

2.3 土壤入渗特性测定

采用改进双环法测定土壤入渗过程,其中内环直径为 5 cm,外环直径为 10 cm,内外环高度均为 15 cm。试验时用铁铲在坡地上清理出可以容纳外环底部面积大小的水平面,然后将内环和外环同时打入土中 10 cm,地表以上 5 cm,水头高略低于 5 cm,以免水分溢出环外而影响最终测定结果。

(1) 初渗率=最初入渗时段内渗透量÷入渗时间,本研究取最初入渗时间为 1 min;

(2) 平均渗透速率=达稳渗时的渗透总量÷达稳渗时的时间;

(3) 稳渗率为单位时间内的渗透量趋于稳定时的渗透速率;

(4) 前 150 min 内的渗透总量。

3 结果与分析

3.1 土壤入渗能力分析

土壤入渗能力是森林生态系统水文循环的基本环节,是反映森林水源涵养功能的重要参数。一定范围内土壤水分入渗速率较大即意味着较多

表1 标准地概况

Table 1 The overview of the standard ground

林分类型	坡度/(°)	坡向	坡位	海拔/m	平均胸径/ cm	平均树高/ m	枯落物厚度/ cm	郁闭度/ %	植物总盖度/ %
鱼鳞云杉臭冷杉林	19	NE	中下坡	870±5	30.0	19.7	6	97	99
天然杂木林	15	NE	中下坡	855±7	23.7	15.8	2	78	90
原生红松阔叶混交林	15	NE	中下坡	758±16	25.0	20.3	4	98	100
蒙古栎林	12	NE	中下坡	622±4	21.5	16.2	3	89	94
红松人工林	3	SW	下坡	533±7	20.7	18.7	2	90	97
农地(CK)	2	SE	—	510±4	—	—	—	—	93

原生红松阔叶混交林的阔叶树以风桦(*Betulacostata*)为主,此外还有少量沙松(*Abies holophylla* Maxim.)、冷杉(*Abies fabri* (Mast.) Craib);杂木林主要有蒙古栎(*Quecusmongolica*)、水曲柳(*Fraxinus mandschurica* Rupr.)、胡桃楸(*Juglans mandshurica* Maxim.)等

降水转化为土壤水和地下水,延缓地表径流形成,降低洪水及其它灾害的威胁,因而土壤入渗性能具有重要生态效益^[18]。土壤的初渗率、平均入渗率、稳渗率和渗透总量是评价土壤水分入渗的基本指标。由于植被类型不同,即使同一植被类型下土壤的入渗能力也会存在较大差异。因此,比较不同植被类型下土壤的入渗能力对于深化森林土壤水源涵养功能的认识,合理保护现有天然林,并因地制宜的营建人工林具有重要意义。

从表2可以看出,研究区内不同植被类型土壤的初渗率、稳渗率、平均入渗率、渗透总量均表现为下层低于上层,其中A层土壤的初渗率在7.1~26.2 mm·min⁻¹之间,稳渗率在2.4~8.9 mm·min⁻¹之间,平均入渗率在2.9~10.5 mm·min⁻¹之间,150 min内的渗透总量在716.3~2 882.6 mL之间,B层土壤的初渗率在2.5~7.8 mm·min⁻¹之间,稳渗率在1.1~3.8 mm·min⁻¹之间,平均入渗率在1.7~4.4 mm·min⁻¹之间,150 min内的渗透总量在630.1~1216.4 mL之间。不同层次土壤入渗能力指标均表现为最大值是最小值的近3倍,差异十分显著,这说明随着土壤深度的增加土壤入渗能力降低,这主要与A层有枯枝落叶等地被物覆盖,土壤腐殖质含量较高有关。不同植被类型间土壤入渗能力差异较大,其中A层初渗率排列顺序为原生红松阔叶混交林>红松人工林>鱼鳞云杉臭冷杉林>农地>蒙古栎林>杂木林,B层初渗率排列顺序为鱼鳞云杉臭冷杉林>农地>杂木林>红松人工林>原生红松阔叶混交林>蒙古栎林,A层和B层的初渗率大小排序并不一致,这主要是因为初渗率为第1 min的渗透量,其大小与土壤初始含水率有很大关系,而且6种植被类型土壤初始入渗率随深度的变化并不一致。A层稳渗率排列顺序为红松人工林>鱼鳞云杉臭冷杉林>原生红松阔叶混交林>杂

木林>蒙古栎林>农地,农地和蒙古栎林稳渗率相对较低,均在2.5 mm·min⁻¹左右,这可能与农地和蒙古栎林所处的海拔位置较低,土壤自身受到一定程度的人为干扰导致结构性不良,进而影响渗透性有关,红松人工林和鱼鳞云杉臭冷杉林的稳渗率均超过了8 mm·min⁻¹,这主要与其土壤自身的结构和林下腐殖质层有直接关系。B层稳渗率以杂木林最大,为3.8 mm·min⁻¹,原生红松阔叶混交林最小,仅为1.1 mm·min⁻¹,其他4种植被类型土壤稳渗率几乎无差异,均在2 mm·min⁻¹左右,这说明随着深度的增加绝大部分植被类型的土壤入渗性能变化幅度较小,彼此之间差异不显著。A层平均入渗率排列顺序为红松人工林>原生红松阔叶混交林>鱼鳞云杉臭冷杉林>杂木林>蒙古栎林>农地,B层平均入渗率排列顺序为杂木林>鱼鳞云杉臭冷杉林>红松人工林>蒙古栎林>农地>原生红松阔叶混交林,蒙古栎林和农地的平均入渗率均较低,这与稳渗率的变化相一致。A层的渗透总量以红松阔叶混交林和红松人工林最大,均在2 800 mL左右,蒙古栎林和农地相对较低,分别为716.3 mL和1 217.9 mL;B层的渗透总量以杂木林最大,红松阔叶混交林最小,分别为1 216.4 mL和365.5 mL,这与渗透总量的变化相一致。同一植被类型不同层次间差异最为显著的是原生红松阔叶混交林,其A层的土壤入渗能力指标是B层的5倍以上,农地不同层次间土壤入渗能力差异最小,其中初渗率差异最大,A层也仅是B层的1.8倍,而稳渗率几乎相等,这主要与农地每年进行翻耕和土壤改良,使得上下层之间土壤结构性差异不明显。

为了评价白石砬子自然保护区6种典型植被土壤入渗能力,并对其进行渗透性强弱的排序,采用SPSS软件对初渗率、稳渗率、平均入渗率和

表2 不同植被类型土壤入渗能力
Table 2 The soil infiltration capacity of different vegetation type

植被类型	层次/cm	初渗率/(mm·min ⁻¹)	稳渗率/(mm·min ⁻¹)	平均入渗率/(mm·min ⁻¹)	渗透总量/mL
鱼鳞云杉臭冷杉林	A	12.8	8.3	8.8	2546.4
	B	7.8	2.2	3.8	933.9
杂木林	A	7.1	3.8	4.6	1275.9
	B	5.0	3.8	4.4	1216.4
原生红松阔叶混交林	A	26.2	6.0	9.7	2882.6
	B	4.2	1.1	1.7	356.5
蒙古栎林	A	8.2	2.6	4.4	1217.9
	B	2.5	2.1	2.5	630.1
红松人工林	A	14.8	8.9	10.5	2820.7
	B	4.3	2.0	2.7	730.2
农地	A	10.5	2.4	2.9	716.3
	B	5.6	2.1	2.3	632.7

表3 土壤入渗能力的PCA分析
Table 3 PCA analysis of the soil infiltration capacity

主成分	X_1	X_2	X_3	X_4	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
P_1	0.458	0.494	0.522	0.523	3.626	90.662	90.662
P_2	0.823	-0.549	-0.130	-0.073	0.349	8.737	99.398
P_3	0.336	0.673	-0.442	-0.490	0.021	0.526	99.924

渗透总量等4个指标进行主成分分析,以揭示各指标对土壤入渗能力的贡献。从表3可以看出,第一个主成分方差的累积贡献率高达90.662%,几乎解释了整个总方差,因子负荷量表明,第一主成分所有变量的正荷载相差不大,但以平均入渗率 X_3 和前150 min渗透总量 X_4 最高,分别为0.522和0.523最高,可以解释为土壤入渗能力的量度,其次为稳渗率 X_2 和初渗率 X_1 ,其主成分方程为 $P_1=0.458 \hat{X}_1 +0.494 \hat{X}_2 +0.522 \hat{X}_3 +0.523 \hat{X}_4$ ($\hat{X}_i$ 为各指标的标准化数据)。以主成分1的贡献率最大,信息损失量仅为9.3385,说明初渗率、稳渗率、平均入渗率和渗透总量等4个指标综合起来能够很好的表达土壤入渗能力,主成分2、主成分3的贡献率分别为8.737%和0.526%,说明利用单一的初渗率,初渗率和稳渗率等2个指标来分别解释土壤入渗能力均存在一定的局限性。

为了更直观地比较各植被类型土壤入渗性能,根据第一个主分量方程,计算不同层次土壤渗透性能得分,并进行排序。从表4可以看出,6种植被类型下土壤入渗性能随着深度的增加变化规律并不一致,红松阔叶混交林A层土壤入渗能力最强,这可能是因为红松阔叶混交林是保护区地带性植被,主要分布在海拔450~1 100 m的中山地段,是本区地带性顶级群落,由于破坏严重,在海拔800 m以下的地方,只有小块状分布,但其林下土壤有机质含量以表土层最高,为底土层的5倍左右,致B层土壤渗透性最差。而蒙古栎林和农地2个层次土壤入渗能力均较弱。红松是我国东北地区的乡土树种,也是辽宁东部山区的主要造林

树种之一,因其针叶养分含量低、分解慢,林地自肥能力差,长期的红松纯林经营导致林地土壤肥力衰退,生态环境恶化,本次调查的红松人工林地势较为平坦,枯枝落叶层厚度也仅为2 cm,尚未形成较为清晰的土壤剖面结构,但其土壤入渗能力最强,这主要与其造林所用客土为砂土,且本身的松散性质所决定的,而并不是由于其自身的枯枝落叶、根系等对土壤的改良作用所引起的。其次为鱼鳞云杉臭冷杉林、红松阔叶混交林、杂木林。该区的蒙古栎林分布在海拔300~400 m到800~900 m地带,林下土壤均受到一定程度的流失,有些山脊陡坡表土流失殆尽,花岗岩母质裸露^[19],林下土壤腐殖质含量低,结构性差,这可能是其土壤入渗能力差的原因。

3.2 土壤入渗过程模拟

土壤入渗模型能够表达入渗速率随时间变化规律,从而对土壤入渗过程作出定性或定量的评价。利用Kostiakov模型 ($f(t)=at^b$,式中: $f(t)$ —入渗速率; t —入渗时间; a, b —由试验资料拟合的参数。)拟合了白石砬子自然保护区6种典型植被下不同层次土壤入渗速率与时间的变化过程,并得到了相应的模型参数。从表5可以看出,拟合模型的相关系数均达到了显著水平,表明不同植被类型土壤入渗速率与入渗时间存在良好的幂函数关系。其中 a 值在2.674~44.340之间,其大小与初始含水量和土壤密度有关,可以较好的反映初始入渗速率的大小,最小值出现在蒙古栎林的下层,最大值出现为原生红松阔叶混交林的上层,这与初始入渗速率大小顺序基本一致; b 值在0.06~0.469之间,其大小反映了入渗速率递减的状况, b 值越大,入渗速率随时间递减越快。

表4 土壤入渗能力评价
Table 4 The evaluation of soil infiltration capacity

植被类型	A		B		平均得分	排序
	得分	排序	得分	排序		
鱼鳞云杉臭冷杉林	2.505	3	-0.802	2	0.851	2
天然杂木林	-0.210	4	-0.426	1	-0.318	4
原生红松阔叶混交林	3.355	1	-1.958	6	0.698	3
蒙古栎林	-0.430	5	-1.591	5	-1.011	5
红松人工林	3.209	2	-1.392	3	0.909	1
农地	-0.853	6	-1.406	4	-1.130	6

表5 不同植被类型土壤入渗过程拟合结果
Table 5 The fitting results of soil infiltration process with different vegetation type

植被类型	层次/cm	Kostiakov 方程	R^2	F	Sig.F
鱼鳞云杉臭冷杉林	A	$y=13.68t^{-0.127}$	0.880	154.77	0.000
	B	$y=11.722t^{-0.337}$	0.879	153.99	0.006
杂木林	A	$y=8.481t^{-0.159}$	0.905	219.006	0.000
	B	$y=6.187t^{-0.101}$	0.730	54.98	0.000
原生红松阔叶混交林	A	$y=44.340t^{-0.390}$	0.973	1173.409	0.000
	B	$y=4.368t^{-0.415}$	0.773	35.097	0.000
蒙古栎林	A	$y=11.414t^{-0.259}$	0.842	156.051	0.000
	B	$y=2.674t^{-0.06}$	0.696	26.142	0.000
红松人工林	A	$y=16.998t^{-0.149}$	0.903	150.576	0.000
	B	$y=7.459t^{-0.288}$	0.800	88.905	0.000
农地	A	$y=6.751t^{-0.469}$	0.592	9.69	0.026
	B	$y=3.853t^{-0.184}$	0.609	19.693	0.001

表6 土壤理化性质与渗透性的相关系数
Table 6 Coefficient between soil properties and permeability

土壤渗透性指标	土壤理化性质					
	初始含水率	容重	总孔隙度	非毛管孔隙度	毛管孔隙度	有机质
初渗率	-0.093	-0.037	-0.177	0.448	-0.320	0.172
稳渗率	0.204	-0.306	0.176	0.609*	-0.027	-0.021
平均入渗率	0.094	-0.294	0.050	0.646*	0.162	0.132
渗透总量	0.125	-0.302	0.089	0.641*	-0.122	0.156

* $P<0.05$; ** $P<0.01$

3.3 土壤理化性质与渗透性的关系

将土壤初始含水率、容重、总孔隙度、非毛管孔隙度、毛管孔隙度、有机质共 6 个指标作为影响因子，与初渗率、稳渗率、平均入渗率、渗透总量共 4 个反映土壤入渗能力指标进行相关分析。从表 6 可以看出，稳渗率、平均入渗率、渗透总量与非毛管孔隙度呈显著正相关关系，初渗率与非毛管孔隙存在相关性，但不显著。土壤入渗能力指标与容重存在负相关关系，但不显著。这说明土壤渗透性的好坏与孔隙状况有很大关系，已有研究表明，土壤入渗能力与土壤的毛管和非毛管孔隙度密切相关，毛管孔隙度反映土壤吸收和保持水分，用于维持植物生长发育的能力，决定着土壤蓄水功能的高低，而非毛管孔隙度表征土壤滞留和下渗水分、发挥水源涵养作用的能力，决定着土壤通透功能的强弱^[20]，并且以与非毛管孔隙关系最大^[21]，呈极显著相关关系^[18,22]，孔隙度的增加不仅有利于土壤中纵向的水分渗透，而且也加速了横向的水分渗透，缩短了渗透时间，能够对土壤水分渗透创造良好的条件^[23]。

4 结论

(1) 白石砬子自然保护区内鱼鳞云杉臭冷杉林、杂木林、原生红松阔叶混交林、蒙古栎林、红松人工林、农地（对照）土壤的初渗率、稳渗

率、平均入渗率、渗透总量均表现为下层低于上层。不同层次土壤入渗能力指标均表现为最大值是最小值的近3倍，差异十分显著。

(2) 不同植被类型间土壤入渗能力差异较大，其中A层初渗率排列顺序为原生红松阔叶混交林>红松人工林>鱼鳞云杉臭冷杉林>农地>蒙古栎林>杂木林，B层初渗率排列顺序为鱼鳞云杉臭冷杉林>农地>杂木林>红松人工林>原生红松阔叶混交林>蒙古栎林；A层稳渗率排列顺序为红松人工林>鱼鳞云杉臭冷杉林>原生红松阔叶混交林>杂木林>蒙古栎林>农地，B层稳渗率以杂木林最大，为3.8 mm·min⁻¹，原生红松阔叶混交林最小，仅为1.1 mm·min⁻¹，其他4种植被类型土壤稳渗率几乎无差异，均在2 mm·min⁻¹左右；A层平均入渗率排列顺序为红松人工林>原生红松阔叶混交林>鱼鳞云杉臭冷杉林>杂木林>蒙古栎林>农地，B层平均入渗率排列顺序为杂木林>鱼鳞云杉臭冷杉林>红松人工林>蒙古栎林>农地>原生红松阔叶混交林；A层的渗透总量以红松阔叶混交林和红松人工林最大，蒙古栎林和农地相对较低；B层的渗透总量以杂木林最大，红松阔叶混交林最小。

(3) 以初渗率、稳渗率、平均入渗率和渗透总量等4个指标进行主成分分析，揭示出各指标对土壤入渗能力的累积贡献率为90.662%，其主成分

方程为 $P_i = 0.458 \hat{X}_1 + 0.494 \hat{X}_2 + 0.522 \hat{X}_3 + 0.523 \hat{X}_4$ ($\hat{X}_i$ 为各指标的标准化数据), 采用该方程计算得分评价的研究区不同植被类型土壤入渗能力排序: 红松人工林>鱼鳞云杉臭冷杉林>原生红松阔叶混交林>杂木林>蒙古栎林>农地。

(4) 利用Kostiakov模型拟合了白石砬子自然保护区6种植被类型下不同层次土壤入渗速率与时间的变化过程, 并得到了相应的模型参数, 拟合模型的相关系数均达到了显著水平, 表明不同植被类型土壤入渗速率与入渗时间存在良好的幂函数关系; 土壤的稳渗率、平均入渗率、渗透总量与非毛管孔隙度呈显著正相关关系, 初渗率与非毛管孔隙存在相关性, 但不显著。与容重存在负相关关系, 但不显著。

参考文献:

- [1] 赵西宁, 吴发启. 土壤水分入渗的研究进展和评述[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(1): 42-45.
- [2] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [3] 刘贤赵, 康绍忠. 降雨入渗和产流问题研究的若干进展及评述[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 57-62.
- [4] 潘紫文, 刘强, 佟得海. 黑龙江省东部山区主要森林类型土壤水分的入渗速率[J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(5): 24-26.
- [5] 赵西宁, 吴发启, 王万忠. 黄土高原沟壑区坡耕地土壤入渗规律研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(4): 109-112.
- [6] 袁建平, 雷廷武, 郭素彦, 等. 黄土丘陵区小流域土壤入渗速率空间变异性[J]. 水利学报, 2001, 10: 88-92.
- [7] 蒋定生, 黄国俊. 黄土高原土壤入渗速率的研究[J]. 土壤学报, 1986, 23(4): 299-304.
- [8] 康绍忠, 张书函, 聂光铺, 等. 内蒙古敖包小流域土壤入渗分布规律的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(2): 38-46.
- [9] 吴钦孝, 韩冰, 李秧秧. 黄土丘陵区小流域土壤水分入渗特征研究[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 1-5.
- [10] 高人, 周广柱. 辽宁东部山区几种主要森林植被类型土壤渗透性能研究[J]. 农村生态环境, 2002, 18(4): 1-4, 14.
- [11] 解文艳, 樊贵盛. 土壤含水量对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(3): 272-275.
- [12] 解文艳, 樊贵盛. 土壤结构对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(4): 381-384.
- [13] 张治伟, 朱章雄, 王燕, 等. 岩溶坡地不同利用类型土壤入渗性能及其影响因素[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 71-76.
- [14] 杨秀莲, 张克斌, 曹永翔. 封育草地土壤生物结皮对水分入渗与植物多样性的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 853-856.
- [15] 刘霞, 张光灿, 李雪蕾, 等. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 1-5.
- [16] 席彩云, 余新晓, 徐娟. 北京密云山区典型林地土壤入渗特性[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(5): 42-47.
- [17] 袁永孝, 宋朝枢. 白石砬子自然保护区科学考察集[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [18] 王兵, 魏文俊, 冷冷. 宁夏六盘山不同森林类型土壤贮水与入渗研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2006, 27(3): 1-5.
- [19] 董厚德. 辽宁省东部白石砬子山的主要植被类型及其分布[J]. 植物学报, 1978, 20(2): 178-179.
- [20] 胡建朋, 杨吉华, 罗明达. 山东石灰岩山地不同林分类型土壤入渗特征研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 54-58.
- [21] 张永涛, 杨吉华, 夏江宝, 等. 石质山地不同条件的土壤入渗特性研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 123-126.
- [22] 吴发启, 赵西宁, 余雕. 坡耕地土壤水分入渗影响因素分析[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 16-18, 78.
- [23] 吕刚, 吴祥云. 土壤入渗特性影响因素研究综述[J]. 中国农学通报, 2008, 24(7): 494-499.

Study on soil infiltration characteristics under several typical vegetation in Baishilazi Nature Reserve

LÜ Gang¹, GU Yushu^{2*}, WEI Zhongping², LIU Hongmin², HAN Youzhi², GAO Yingxu²

1. College of Environment Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. The Liaoning Academy of Forestry, Shenyang 110032, China

Abstract: Choosing 6 different typical vegetation soil in the Baishilazi Nature Reserve as research objection, in order to study the soil water conservation of Liaodong mountainous forest. Using bicyclic experiment in the field and analysis the physical and chemical properties in laboratory to study the soil infiltration capacity under different vegetation types and the relationship with the physical and chemical properties. The results show that: the initial infiltration rate of the soil, the infiltration rate, the average infiltration rate, and the total permeability in different vegetation types performance underlying lower than the upper, the maximum is about 3 times than the minimum; The soil infiltration capacity were large differences in different vegetation types, where initial infiltration rate in A layer were in the order of Native Korean pine and broad-leaved mixed forest>Korean pine plantation>Smelly scale spruce-fir forest>Agricultural land>Mongolian oak forest>Shaw, while in order of Smelly scale spruce-fir forest>Agricultural land>Shaw>Korean pine plantation>Native Korean pine and broad-leaved mixed forest>Mongolian oak forest in B layer. The steady infiltration rate in A layer were in the order of Korean pine plantation>Smelly scale spruce-fir forest>Native Korean pine and

broad-leaved mixed forest>Shaw>Mongolian oak forest>Agricultural land, but in the B layer, the Shaw's steady infiltration rate was maximum, the size was $3.8 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, while it was the minimum of Native Korean pine and broad-leaved mixed forest, the size was only $1.1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, and the steady infiltration rate were almost no difference between other four vegetation types. The average initial infiltration rate in A layer were in the order of Korean pine plantation>Native Korean pine and broad-leaved mixed forest>Smelly scale spruce-fir forest>Shaw>Mongolian oak forest>Agricultural land, while it was in order of Shaw>Smelly scale spruce-fir forest>Korean pine plantation>Mongolian oak forest >Agricultural land>Native Korean pine and broad-leaved mixed forest in B layer. The maximum of total penetration in A layer were Native Korean pine and broad-leaved mixed forest and Korean pine plantation, and it were relatively low of Mongolian oak forest and Agricultural land, but it was maximum of Shaw and the maximum was of Korean pine plantation in B layer. Using principal component analysis method to evaluate the soil infiltration capacity, the order express Korean pine plantation>Smelly scale spruce-fir forest>Native Korean pine and broad-leaved mixed forest>Shaw>Mongolian oak forest>Agricultural land. Using the four indicators, initial infiltration rate, the steady infiltration rate, average infiltration rate and total penetration together could be a good expression of the soil infiltration capacity, and its main component the cumulative variance contribution rate of 90.662%; there is a good power function relationship between soil infiltration rate and infiltration time of the different levels; there was a significant positive correlation between the total non-capillary porosity and the infiltration rate of the soil, the average infiltration rate, the total penetration; there is a relationship between Initial infiltration rate and non-capillary porosity, but not significant; it is negatively correlated with bulk density, but not significantly.

Key words: soil infiltration; soil hydrology; water conservation functions; principal component analysis; baishilazi