

密云水库北京集水区典型植被土壤入渗特征研究

包昱峰,高甲荣,高阳

(北京林业大学 水土保持学院,教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室,北京 100083)

摘要:通过对密云水库北京集水区 5 种典型植被类型入渗特征的研究表明,密云水库水源涵养林林地土壤的初渗速率在 13 ~ 20 mm/min 之间,改变微地形后,土壤的渗透性能得到明显改善。密云水库北京集水区土壤渗透性和持水功能最好的是侧柏林,最差为荒草坡和农田。对 3 种渗透模型拟合结果表明,考斯加柯夫公式和菲利普公式对该地区土壤入渗前期拟合较好,而随着时间推移,霍顿公式的拟合结果更接近于实测值。

关键词:密云水库集水区;林地土壤;土壤入渗;入渗模型

中图分类号:S715

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)04-0176-04

Soil Infiltration Characteristics of Typical Vegetation in the Catchment of Miyun Reservoir

BAO Yu-Feng, GAO Jia-Rong, GAO Yang

(Key Laboratory of Soil & Water Conservation and Desertification Control,
Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The infiltration characteristics of the five typical vegetations growing in the catchment of Miyun reservoir are studied. The results indicate that the beginning infiltration speed of forestry soil is between 13 mm/min and 20mm/min, and soil permeability improves noticeably with the changes of micro-topography. Among the plants growing in the catchment of Miyun reservoir, Biota orientalis forest has the best soil infiltration quality and moisture-holding capability, barren land and farm land have the worse ones. According to the fitted results of three infiltration equations, the fitted results of Kostiakov formula and Philip formula are near to the actual soil infiltration situation at the beginning, however, Horton formula is the best throughout the whole soil infiltration process.

Key words: the catchment of Miyun reservoir; forestry soil; soil infiltration; infiltration equation

林地土壤的蓄水、调水功能是森林水文功能的重要组成部分,在林地的各水文作用层中,深厚的土壤层通过其孔隙吸持的水量所占的比例高达 95 % 以上^[1],其功能的高低直接影响到土壤物质的转化过程。土壤渗透性较好的土壤能够减小地表径流量,拥有较好的水土保持功能。土壤水分状况又是土壤肥力的重要指标之一,它的好坏直接关系着林业生产。因此,控制和改善林地土壤水分状况是提高森林生产力的重要措施。

密云水库是北京市重要的饮用水水源,为保护密云水库,国家投巨资组织专家作了很多研究,水源涵养林建设是其中一项很重要得内容。通过对密云水库北京集水区典型植被类型入渗特征的研究,旨在为密云水库北京集水区水源涵养林的建设、经营和管理提供理论依据。

1 研究区概况

密云水库北京集水区(以下简称集水区)地处

* 收稿日期:2007-03-25 修稿日期:2007-07-07

基金项目:北京市自然科学基金“北京地区典型河溪生态系统环境效应及其调控机理”(基金编号 8062022)

作者简介:包昱峰(1983-),男,硕士研究生,主要研究方向:水土保持。

通讯作者:高甲荣(1963-),男,副教授,博士,主要研究方向为流域管理及生态环境建设。

北京市北部,位于东经 $116^{\circ}07' \sim 117^{\circ}30'$, 北纬 $40^{\circ}14' \sim 41^{\circ}31'$, 属于暖温带半湿润季风大陆性气候, 年平均气温为 $8.5 \sim 9.5^{\circ}\text{C}$, 年均降水量为 607 mm 。集水区处在内蒙古地轴东段和燕山台褶带上, 地势西北高、东南低, 西北部以海拔 $1\,000 \sim 2\,290\text{ m}$ 的中山为主, 东南部多为低山、丘陵和平原, 海拔约在 500 m 以上。水库周边的浅山丘陵区地表多为松散堆积物, 由壤土、沙壤土、沙卵砾石组成, 深山区分布较多的为片麻岩、沙页岩、花岗岩等易破碎、易风化的水融地貌类型。

本研究选择了 5 块密云水库北京集水区典型植被类型, 油松林(水平阶)、油松林(坡地)、侧柏林(坡地)、农田、荒草坡土壤入渗特征进行研究。

2 研究内容与实验方法

2.1 标准地调查

对集水区的 5 种典型植被类型进行调查。根据各植被类型的主要分布区域, 预先踏勘确定试验树种林地的大致特点。综合考虑自然、水源、交通等条件, 标准地选择在坡中或坡下部位。标准地面积为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$, 用指北针和测角仪确定坡位、坡向和坡角。标准地所在高程查阅该地区地形图和用海拔仪测得。

2.2 土壤物理化学性质的测定

通过挖土壤剖面确定土壤剖面特征和土壤质地。在土壤剖面调查之后, 对土壤进行分层取样, 带回室内测定其物理化学性质。

2.3 土壤入渗实验

采用双环入渗, 在内环使土壤表层保持 $4 \sim 5\text{ cm}$ 水层, 不断补充渗入的水量并记时, 实验至稳渗为止, 并记录土壤的初渗速率、稳渗速率等。

3 结果与分析

3.1 样地土壤基本特征

调查发现, 研究区内土壤多为山地草甸土、棕壤和褐土。一般层次过渡较为明显, 根系分布层一般在 50 cm 以内, 高山区土层较厚, 土壤肥沃、湿润; 低山丘陵区则多为风化岩残屑混合物, 土层较薄, 土壤 pH 值 $5.9 \sim 8.5$, 大都呈中性或微酸性。土壤养分总趋势是 N 、 P 缺乏, K 较充分, 山地天然次生林地(远山区)有机质含量较高; 而低山区则一般土壤瘠薄, 植被稀疏、水土流失严重。

影响土壤渗透性的因素很多, 如样地的坡度、土壤砾石含量、土层紧实度、初期含水率、孔隙度等。

据吴发启^[2]等人的研究发现, 以上各因素中以土壤的初始含水率、孔隙度、以及土壤容重的影响最大。据调查结果显示, 区内土壤的总孔隙度多在 50% 以上, 非毛管孔隙分布在 $5.04\% \sim 21.03\%$ 之间, 其总孔隙度和非毛管孔隙度呈正相关, 各土层的容重多在 $1.2 \sim 1.5\text{ g/cm}^3$ 之间, 土壤含水率变化较大, 多在 $40\% \sim 70\%$ 之间, 在同一剖面之中由上至下, 土壤孔隙度呈递减趋势。

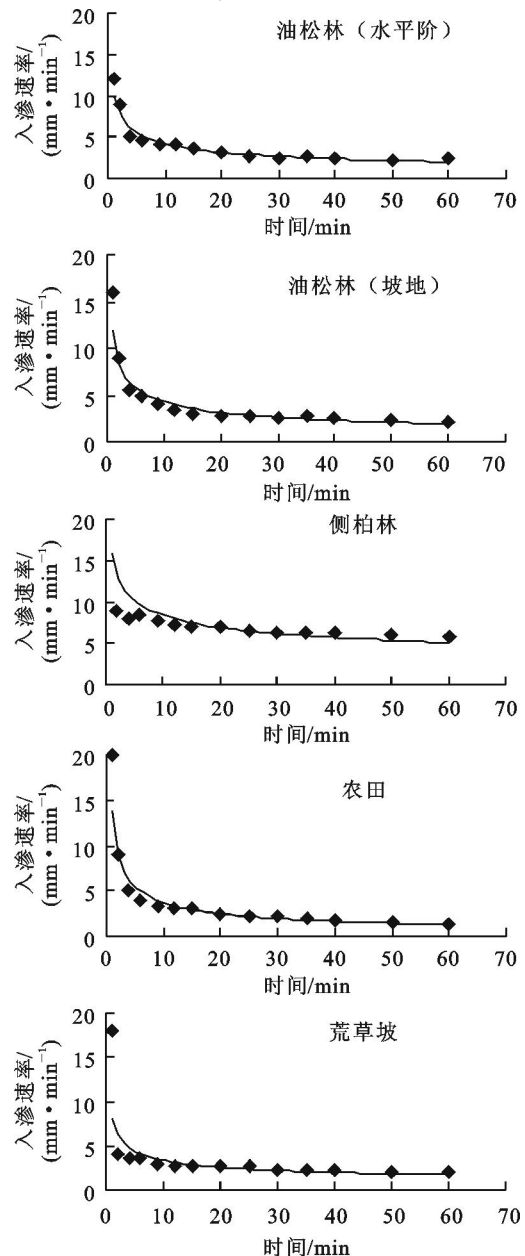


图 1 不同植被类型土壤入渗特征曲线

3.2 土壤入渗特征

土壤渗透特性是土壤极为重要的物理特征参数, 土壤渗透性能的好坏, 直接影响到地表径流量的大小, 对土壤侵蚀的影响很大。已有的研究表明, 土壤渗透性能越好, 地表径流就会越少, 土壤的流失量

也会相应减少^[3]。

双环入渗实验操作简便,而且由于内外环中都充满水,水流实际上是从内环垂直进入土壤,其入渗过程几乎只与土壤物理性状(孔隙率、含水量和孔隙形状等)直接有关,也几乎不直接与坡度发生作用,其指标能单一地反映不同林分的土壤入渗性能相对值^[4]。故迄今为止,双环入渗实验仍是森林水文和水土保持研究中确定土壤入渗性能最普遍采用的最简便的调查方法。

研究发现,密云水库北京集水区水源涵养林林地土壤的初渗速率多在 13~20 mm/min 之间,土壤的稳渗速率在 1~7 mm/min 之间。

由图 1 入渗特征曲线可以看出,土壤的渗透速率从初渗到稳渗的过程中,渗透速率在不断减小,其中,在土壤入渗初期明显存在一个突变,产生这一现象的主要原因是由于在入渗初期,一部分水用于填充土壤与环刀之间缝隙、土壤自身的吸湿和土壤孔隙的填充。随着时间的推移,其变化速率逐渐减小,最终达到零,从而实现稳渗。在以上各样地中,以油松林地土壤渗透速率的变化幅度最小,从入渗开始就表现的较为平稳,直至达到稳渗,而变化最大的样地为侧柏林地和农田。此外,各样地土壤达到稳渗的时间也各不相同,其中最快为农田,只需 20 min,最晚达到稳渗的样地为油松林地,需 60 min。

3.3 土壤入渗过程的数学模拟

土壤水分入渗的数学模型有很多种,其适用条件各异^[5,6]。根据本次研究的具体情况,选取较为常用的 3 种数学模型,然后由实测数据进行回归分析并拟合检验,从而为选择该地区较为适合的入渗模型提供依据。这 3 个模型的数学形式如下:

(1) 考斯加柯夫公式:

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

式中: I ——土壤入渗速率(mm/min); t ——入渗时间(min); a, n ——由试验数据拟合的参数^[7]。

(2) 霍顿公式:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \exp(-kt)$$

式中: f_0 和 f_c 分别为初渗率和稳渗率; t ——入渗时间(min); k ——经验参数^[8]。

(3) 菲利普公式:

$$i_0 = \frac{1}{2}St^{-0.5} + A$$

式中: i_0 ——土壤入渗率; A ——土壤稳渗率; S ——土壤吸湿率; t ——入渗时间^[9]。

从表 1 可以看出,经回归分析,考斯加柯夫公式相关性密切。参数 a 在 8~15 之间,只有荒草坡较小,为 8.2,其大小主要与土壤的非毛管孔隙度及土壤容重相关。而 n 值的大小反映了土壤入渗随时间的变化递减情况,其值变化在 0.38~0.59 之间,总体来说,土壤渗透性能较好的样地其 n 值相对较小,渗透性能较好的样地为荒草坡和侧柏林。霍顿公式的回归采用的是先给模型中的 f_c 和 f_0 进行赋值,两边取对数之后计算各个时段的 K 值,取平均值进行回归,再计算其相关系数。结果表明,霍顿公式的拟合相关性较好。同时当 t 无限增大时, $f(t)$ 也趋近于 f_c ,符合传统的土壤入渗规律。菲利普公式总体拟合较好,由于以上数据是由试验数据换算直接回归所得,其 S 值变化在 12~33 之间, A 值的范围为 1~4 之间,这与其实际物理意义存在较大差距。产生原因主要是由于模型本身只能对渗透过程的一个时段进行模拟,加之试验数据的采集很难满足理论的公式需求,因此出现了较大的差异。

总体看来,考斯加柯夫公式、菲利普公式的拟合效果较好,而霍顿公式在入渗初期拟合的结果大于实测值,之后又逐渐减小而小于实测值,但当 t 无限增大时,其拟合结果逐渐趋于实测值。总的来说霍顿公式的拟合结果在前期不如考斯加柯夫公式和菲利普公式,但其对稳渗阶段的模拟却优于考斯加柯夫公式和菲利普公式。

表 1 不同植被类型土壤入渗模型的参数

植 被 类 型	考斯加柯夫公式			霍顿公式				菲利普公式		
	R	a	n	R	f_0	f_c	k	R	S	A
油松林(水平阶)	0.98	10.2	0.587	0.99	13	2.5	0.116	0.92	12	2.2
油松林(坡地)	0.97	11.9	0.445	0.97	16	2	0.110	0.95	14	2.4
侧柏林	0.89	15.0	0.509	0.88	35	2	0.159	0.87	33	4.0
农 田	0.98	14.0	0.579	0.98	20	1.3	0.085	0.91	19.1	1.3
荒草坡	0.86	8.2	0.385	0.93	18	2	0.092	0.82	16.9	1.4

4 结 论

(1) 密云水库水源涵养林林地土壤的总孔隙度多在 50 % 以上,非毛管孔隙分布在 5.04 % ~ 21.03 % 之间,总体上说,土壤初渗速率与土壤的初期含水量关系不是十分明显,而与其总孔隙度和其非毛管孔隙度呈正相关。

(2) 调查研究发现,密云水库北京集水区水源涵养林土壤的总孔隙度、非毛管孔隙度、土壤含水率(研究时段内)在同一剖面中由上至下呈明显的递减趋势,而土壤的紧实度和容重呈明显递增趋势。

(3) 密云水库北京集水区水源涵养林林地土壤的初渗速率多在 13 ~ 20 mm/min 之间。土壤的稳渗速率在 1 ~ 7 mm/min 之间,且改变微地形后,土壤的渗透性能得到明显改善。

(4) 通过对土壤渗透性的综合分析比较,密云水库北京集水区水源涵养林土壤渗透性和持水功能最好的是侧柏林,最差为荒草坡和农田。

(5) 根据 3 种渗透模型拟合结果可以看出,考斯加柯夫公式和菲利普公式对该地区土壤入渗前期拟合较好,而随着时间的推移,霍顿公式的拟合结果更

接近于实测值。

参考文献:

- [1] 杨玉胜,陈光水,谢锦升.论森林水源涵养功能[J].福建水土保持,1999,11(3):3-7.
- [2] 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.
- [3] 李香兰.黄土高原不同林型对土壤物理性质的影响[J].林业科学,1992,28(2):98-105.
- [4] 于志明,王礼先.水源涵养林效益研究[M].北京:中国林业出版社,1991.
- [5] 全玉才,延跃兴,等.霍顿入渗方程参数的直接拟合法[J].山西水利科技,1997,116(2):26-29.
- [6] 王全九,来剑斌,等.Green-Ampt 模型与 Philip 入渗模型的对比分析[J].农业工程学报,2002,18(2):13-16.
- [7] 贝弗尔 L D,等(著),叶和才,等(校).土壤物理学[M].农业出版社,1983.
- [8] 吴长文,王礼先.林地土壤的入渗及其模拟分析[J].水土保持研究,1995,2(1):71-75.
- [9] 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.

(上接第 175 页)

蚀面积 390.31 km²,侵蚀率下降 2 %。土壤侵蚀总体上呈下降趋势,生态环境得到明显改观。这与省委、省政府历来重视沿海地区水土保持工作,水土流失综合治理投入力度大、群众保护水土资源的意识和治理水土流失的积极性高是紧密相连的。近年来,省委、省政府相继做出建设生态省和建设海峡西岸经济区的重大决策,这无疑对我省沿海地区的水土保持生态建设提出了更高的要求。虽然 4 a 来福建沿海地区的水土保持生态环境建设工作所取得了明显成效,水土流失导致的生态环境恶化的状况有所缓解,但该地区的水土保持工作依然任重而道远。

(2) 研究表明,本次福建沿海地区土壤侵蚀遥感监测中所采用的基于像元的土壤侵蚀强度计算机自动评判方法,比常规人机交互判读方法能够大大降低野外工作及人工判读工作量,实现土壤侵蚀的遥

感高精度快速调查,在实际工作中具有较强的可操作性,且便于进行动态监测分析,可为今后快速实现全省范围内的土壤侵蚀现状调查提供有力的技术保障,同时为政府部门制定水土保持防治决策提供科学依据,为福建生态省和建设海峡西岸经济区两大战略决策服务。

参考文献:

- [1] 吴清泉,等.福建省水蚀区土壤侵蚀遥感监测技术探讨[J].亚热带水土保持,2006,18(3):60-62.
- [2] 刘廉海.3S 技术在厦门市土壤侵蚀监测和评价上的应用[J].水土保持通报,2006,26(5):79-81.
- [3] 陈明华,等.福鼎市土壤侵蚀的遥感监测研究[J].水土保持研究,1998,5(2):136-140.
- [4] 左长清,等.江西省水土流失动态监测与分析[J].水土保持通报,2006,26(6):55-58.