

重庆缙云山典型林分林地土壤入渗特性研究

王玉杰, 王云琦

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

摘 要: 通过对三峡库区重庆缙云山 4 种典型林分(针阔叶混交林, 阔叶林, 楠竹林和灌木林)林地土壤的入渗特性研究表明, 4 种典型林分林地土壤的快速度贮水量(即非毛管暂时滞留水)是农地的 1.3~2 倍, 灌木林非毛管贮水量最大(171.27 mm)。4 种典型林分林地土壤稳渗率的顺序为: 灌木林(10.169 mm/m in) > 楠竹林(0.927 mm/m in) > 混交林(0.743 mm/m in) > 阔叶林(0.551 mm/m in) > 农地(0.253 mm/m in)。对于林地土壤, Philip 入渗公式比 Horton 公式拟合效果更好。而对于农地土壤, 采用 Horton 公式模拟效果更好, 相关系数均在 0.94 以上。运用入渗模型模拟要优于直接幂函数回归。

关键词: 缙云山; 林地土壤; 土壤贮水量; 土壤入渗; 入渗模型

中图分类号: S715.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)02-0193-02

Research on Forest Soil Permeability Capability of Typical Forests in Jinyun Mountain in Chongqing City

WANG Yu-jie, WANG Yun-qi

(Soil and Water Conservation College in Beijing Forestry University, Key Lab Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: The research on the forest soil permeability capability of 4 typical forests (mixed wood, broadleaf forest, bamboo forest and shrub forest) in Jinyun mountain in Chongqing City shows that, the forest soil fast water retaining capacity (temporary non-capillary water capacity) is 1.3~2 times arable farmland, and shrub forest have the maximum of non-capillary water capacity (171.27 mm). The forest soil solid permeability order of 4 typical forests is shrub forest (10.169 mm/m in) > bamboo forest (0.927 mm/m in) > mixed wood (0.743 mm/m in) > broadleaf forest (0.551 mm/m in) > arable farmland (0.253 mm/m in). Philip infiltration model has better analog calculation effects than Horton model to the forest soil, however to arable farmland soil, Horton model is better ($R > 0.94$). In general, infiltration model analog effect is better than directly power function regression.

Key words: Jinyun mountain; forest soil; water retaining capacity; soil permeability; infiltration model

土壤层是水源涵养林水文效应的第三活动层, 林下降水量在这里进行第三次分配, 即通过林冠层和枯枝落叶层的水分, 将贮存在土中, 被根系吸收, 蒸腾与土面蒸发, 最后多余的水量渗透到土壤下层成为地下水保存下来或以潜流流出林外。在一个森林生态系统, 有根系的土层是巨大的水分贮蓄库和水文调节器^[1]。

土壤的入渗过程和渗透能力决定了降雨过程再分配中地表径流和土壤水分的产生和发展, 而合适的入渗模型是研究水源涵养林保水功能的重要手段^[2]。

1 研究区概况

选取位于重庆市北碚区境内, 嘉陵江小三峡之温塘峡两岸的缙云山自然保护区作为研究基地, 见本刊 2006 年 1 期^[4]。

在该自然保护区内选取主要的 4 个林分类型, 针阔叶混

交林, 常绿阔叶林, 楠竹林和常绿阔叶灌丛对其林地土壤的贮水和入渗特性进行研究, 并以农耕地作为对照。

2 研究内容与实验方法

2.1 标准地调查

对缙云山典型的 4 种主要林分进行调查。确定坡位、坡向和坡角, 林分的树种、林龄、郁闭度、胸径、树高、冠幅、下木种类和盖度、地被物种类和盖度、枯落物厚度和贮量。通过挖土壤剖面确定土壤剖面特征和土壤质地。

2.2 土壤物理性质的测定

采用烘干法分层测土壤含水量, 用环刀法分层测定容重、毛管孔隙度和总孔隙度。

2.3 土壤入渗实验

采用双环入渗, 在内环使土壤表层保护 4~5 cm 水层, 不断补充渗入的水量并计时, 试验至稳渗为止。并用环刀分层取原状土样进行不同林分土壤各层入渗的测定。

收稿日期: 2005-04-01

基金项目: 国家“十五”攻关课题子课题“长江三峡水源涵养林植被建设技术研究与示范”(2004BA510B02-01)

作者简介: 王玉杰(1960-), 男, 教授, 主要研究方向: 土壤侵蚀, 林业生态工程; 通讯作者: 王云琦。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 结果与分析

3.1 不同林分代表性标准地的基本情况

通过对四种典型林分类型的现场调查,其基本情况见本刊 2006 年 1 期^[4]。

3.2 土壤孔隙与贮水物征

由表 2 看出,重庆缙云山土壤层较厚大于 1 m。实地调查灌木林土壤腐殖层最厚(25 cm),这是由于灌木林的枯落物最厚,储量也最多,灌木林的树种也最丰富。楠竹林由于其枯落物厚度与储量均最少,因此,其腐殖层最薄(6 cm)。

土壤的容重与孔隙度是反映林地土壤物理性质的两项重要指标。土壤的容重与孔隙度受土壤发育状况的影响。由于不同林地地表的枯落物组成、分解状况和地下根系的生长发育存在差异,造成林地土壤物理性质的差异。土壤贮水力是评价不同植物群落下的土壤涵养水源及调节水分循环的一个重要指标^[5],林地蓄洪作用主要反映在非毛管孔隙水的贮存能力上。根据分层实测的各层孔隙度和土壤各层厚度逐层计算得不同林分土壤各类孔隙的贮水量见表 1。由表 1 可知,林地的饱和贮水量虽然不及农地,但是其快速度贮水量(即非毛管暂时滞留水)是农地的 1.3~2 倍,林地土壤饱和贮水量和非毛管贮水量的大小顺序均为灌木林(699.08, 171.27 mm)> 针阔混交林(585.10, 142.98 mm)> 阔叶林(556.47, 128.22 mm)> 楠竹林(465.81, 124.41 mm)。这是与灌木林植物种多,枯落物的厚度与贮量均明显多于其它林分,其有机层较厚直接有关。而楠竹林树种较单一,枯落物的厚度与贮量均最少,并且其土壤层最薄。

表 1 土壤物理性状及贮水特征

林分	土壤质地	土层厚度 /cm	土壤容重 /(g·cm ⁻³)	孔隙度/%				土壤贮水量/mm		
				总孔隙	非毛管	毛管		饱和	非毛管	毛管
针阔混交林	砂壤	123	1.44	47.57	11.62	35.94	585.1	142.98	442.12	12
阔叶林	砂壤	135	1.47	41.15	9.50	31.65	555.47	128.22	427.25	25
楠竹林	砂壤	109	1.45	42.35	11.31	31.04	465.81	124.41	341.40	10
灌木林	砂壤	130	1.21	53.78	13.17	40.60	699.08	171.27	527.81	81
农地(对照)	砂壤	130	1.49	42.52	6.50	36.02	552.70	84.48	468.21	21

3.3 不同林分土壤入渗特征

土壤渗透性是土壤极为重要的物理特征参数之一,其渗透性能的好坏,直接关系到地表产生径流量的大小,对土壤侵蚀影响很大,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^[6,7]。

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和最简便的调查方法。双环入渗实验因其实验简单,而且更重要的,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,故其指标能单一地反映不同林分的土壤入渗性能相对值^[1]。

从表 2 可以看出,不同林分的初渗率(相对值)的排序是灌木林(1.76)> 阔叶林(0.67) 楠竹林(0.19)> 混交林(0.11),而其稳渗率(相对值)的顺序为:灌木林(40.15)> 楠竹林(3.66)> 混交林(2.94)> 阔叶林(2.18)。这与其断面非毛管孔隙分布直接有关(见图 1),由图 1 可以看出林地的非毛管孔隙度要大于农地,灌木林的非毛管孔隙最大,阔叶林的非毛管孔隙要小于其它林分。由环刀分层入渗实验可以看出,A₁层的入渗顺序为农地,楠竹林最大,灌木林其次,阔叶林和混交林最小,这是由于楠竹林的根系集中分布较浅和横向分布比较广泛,而农耕地的 A₁ 层耕作活动最为频繁,受人

为影响较大,因此其入渗率较高。而在 A₂ 和 B 层下,各层入渗率明显高于农地,其中灌木林入渗率远大于其它林分,阔叶林与针阔混交林土壤入渗率相差不大,楠竹林的入渗率最小,而到 C 层,各林分入渗率相差不大。并且,各林分 C 层的入渗率都大于 B 层,这与各林分(除针阔混交林外)C 层非毛管孔隙度大于 B 层,容重要小于 B 层有关。从图 1 可以看出,各层土壤入渗率分布与其非毛管孔隙分布趋势基本一致。

3.4 土壤入渗过程的数学模拟

由于林地坡面水分入渗一般属于非饱和水分运动,故土壤水分运动基本方程,即使是最简单的边界条件,严格意义上的解析解都十分困难。为此,自本世纪以来已有不少研究有提出了许多半理论、半经验甚至纯经验的入渗模型。常用的入渗模型有^[1,8]:

$$(1) \text{ 考斯加柯夫公式: } f = \alpha t^{\frac{1}{2}}$$

式中: f —— 入渗率; α —— 入渗系数, t —— 时间。

$$(2) \text{ 菲利普公式(Philip) } f = \frac{1}{2} s t^{\frac{1}{2}} + A$$

式中: s —— 吸水率; A —— 稳渗率。

$$(3) \text{ 霍顿公式(Horton) } f = f_c + (f_o - f_c) e^{-kt}$$

式中: f_c —— 稳定入渗率, f_o —— 初始入渗率, k —— 常数。

(4) 同时对其进行入渗的幂函数回归模拟,其形式为: $f = at^{-b}$

式中: a, b —— 常数。

表 2 不同林分土壤各层入渗率

林分	A ₁ 层	A ₂ 层	B层	C层	稳渗率	初渗率
针阔混交林	1.570	0.073	0.028	0.055	0.743	2.190
阔叶林	1.575	0.084	0.029	0.051	0.551	13.333
楠竹林	16.20	0.036	0.015	0.055	0.927	3.704
灌木林	7.143	2.368	1.025		10.169	35.294
农地	16.220	0.023	0.002	0.007	0.253	20.000
入渗率相对值						
针阔混交林	0.10	3.17	14.00	7.86	2.94	0.11
阔叶林	0.10	3.65	14.50	7.29	2.18	0.67
楠竹林	1.00	1.57	7.50	7.86	3.66	0.19
灌木林	0.44	102.96	512.50		40.15	1.76
农地	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

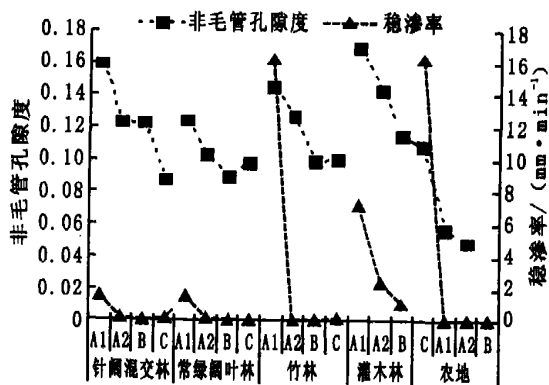


图 1 不同林分各层非毛管孔隙度和入渗率的分布

考斯加柯夫公式是最简单的入渗模型, Philip 公式是在水分运动基本方程式的基础上,经简化推导出来的,因此它有一定的物理基础,由于它比考斯加柯夫公式多了一个常数项,可以认为是对它的改进式, Horton 公式属于纯经验性模

(下转第 256 页)

参考文献:

- [1] 徐永年, 田卫宾 开发建设项目弃渣场设计及防洪问题[J]. 中国水土保持, 2003, (2): 23- 24
- [2] 王禹生, 万彩兵 开发建设项目弃渣场设计探讨[J]. 人民长江, 2004, 35(4): 11- 13
- [3] 孙大伟, 郎小燕 赵山渡水土保持工程中弃渣场的布置及防护[J]. 水土保持科技情报, 2002, (1): 36- 38
- [4] 操昌碧 水利水电工程弃渣场水土保持工程措施研究[J]. 水电站设计, 2001, 17(4): 39- 41.
- [5] 黄太华, 袁健 关于重力式挡土墙截面尺寸确定方法的探讨[J]. 岩土工程技术, 2004, 18(5): 242- 243
- [6] 陈希哲 土力学地基基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998 169- 198

(上接第 194 页)

型。根据表 3 采用不同入渗模型拟合相关系数 R 的大小, 可以判断对于林地土壤, Philip 公式比 Horton 公式拟合效果更好。而对于农地土壤, 采用 Horton 公式模拟效果更好。运用入渗模型模拟要优于直接幂函数回归。不同地类入渗模型见表 3。运用入渗模型将不同林分的入渗过程绘于图 2, 由图 2 可知, 灌木林的入渗性能要远好于其它林分, 农耕地的初渗速率虽然相当大, 但其稳渗速率明显降低, 这与农耕地受人为活动干扰直接有关。

表 3 不同林分土壤入渗模型的参数

林分	Philip 公式			幂函数			Horton 公式			
	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i>	<i>f₀</i>	<i>f_c</i>	<i>k</i>	<i>R</i>
针阔混交林	6 711	0 347	0 947	2 547	0 273	0 895	1 425	0 740	0 036	0 945
常绿阔叶林	3 242	0 407	0 991	1 361	0 599	0 978	1 000	0 550	0 035	0 843
楠竹林	10 196	0 429	0 987	4 436	0 339	0 971	2 878	0 920	0 043	0 866
灌木林	25 010	0 200	0 969	20 988	0 190	0 942	20 891	10 160	0 103	0 792
农地	26 870	2 655	0 901	29 850	0 660	0 788	18 406	0 253	0 061	0 978

由表 4 总入渗量的计算可以看出, 林地所采用的 Philip 模型和农地采用 Horton 模型, 模拟的效果误差较小。在 120 min 中入渗中, 灌木林的累计入渗量要远大于其它各种林分, 楠竹林要好于针阔混交林, 阔叶林的累计入渗量最少。

表 4 不同林分土壤入渗模型

林分	入渗模型	累积入渗量公式
针阔混交林	$f = \frac{1}{2} \times 6 711 t^{\frac{1}{2}} + 0 347$	$F = 6 711 t^{\frac{1}{2}} + 0 347 t$
常绿阔叶林	$f = \frac{1}{2} \times 3 242 t^{\frac{1}{2}} + 0 407$	$F = 3 242 t^{\frac{1}{2}} + 0 407 t$
楠竹林	$f = \frac{1}{2} \times 10 196 t^{\frac{1}{2}} + 0 429$	$F = 10 196 t^{\frac{1}{2}} + 0 429 t$
灌木林	$f = \frac{1}{2} \times 25 010 t^{\frac{1}{2}} + 0 200$	$F = 25 010 t^{\frac{1}{2}} + 0 200 t$
农地	$f = 0 253 + 18 156 e^{-0 0606 t}$	$F = 0 253 t + (18 406 - 0 253) \times (1 - e^{-0 0606 t}) / 0 0606$

4 结 论

(1) 重庆缙云山 4 种典型林分林地土壤的快速度贮水量 (即非毛管暂时滞留水) 是农地的 1.3~ 2 倍, 林地土壤非毛管贮水量的大小顺序均为灌木林 (171. 27 mm) > 针阔混交

林 (142. 98 mm) > 阔叶林 (128. 22 mm) > 楠竹林 (124. 41 mm)。

(2) 4 种典型林分林地土壤稳渗率的顺序为: 灌木林 (10. 169 mm/m in) > 楠竹林 (9. 927 mm/m in) > 混交林 (9. 743 mm/m in) > 阔叶林 (9. 551 mm/m in) > 农地 (9. 253 mm/m in)。

表 5 典型入渗曲线模型计算的 120 min 累计入渗量与实测值比较

林分	实测值 /mm	模型计算值 /mm	与实测值 之差/%
针阔混交林	114. 43	115. 16	0. 6
常绿阔叶林	85. 66	84. 35	- 1. 5
楠竹林	159. 23	163. 17	2. 5
灌木林	1372. 64	1377. 97	0. 4
农地	300. 99	329. 71	9. 5

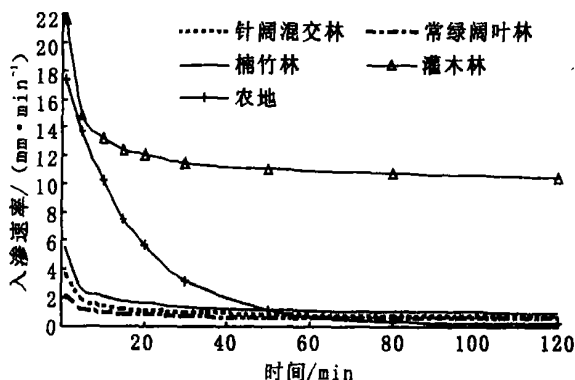


图 2 不同林分林地土壤入渗过程

(3) 根据 2 种不同入渗模型拟合相关系数 R 的大小, 可以判断对于林地土壤, Philip 公式比 Horton 公式拟合效果更好。而对于农地土壤, 采用 Horton 公式模拟效果更好。运用入渗模型模拟要优于直接幂函数回归。

(4) 4 种典型林分总入渗量的计算可以看出, 林地所采用的 Philip 模型和农地采用 Horton 模型, 模拟的效果误差较小。在 120 min 中入渗中, 灌木林的累计入渗量要远大于其它各种林分, 楠竹林要好于针阔混交林, 阔叶林的累计入渗量最少。

参考文献:

- [1] 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. 44- 57.
- [2] 吴长文, 王礼先 林地土壤的入渗及其模拟分析[M]. 水土保持研究, 1995, 2(1): 71- 75
- [3] 刘玉成, 钟章成, 等 缙云山自然保护区植被概况[A]. 见: 钟章成 常绿阔叶林生态学研究[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 1988 315- 326
- [4] 周利军 三峡库区典型林分林地土壤抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 186- 188
- [5] 余新晓, 张建军, 朱金兆 黄土地区防护林生态系统土壤水分条件的分析与评价[J]. 林业科学, 1996, 32(4): 289- 296
- [6] 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
- [7] 张万儒, 许本彤 森林土壤定位研究方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986 30- 36
- [8] 雷志栋, 等 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988 77- 130