

广州市白云山五种森林类型的土壤渗透性研究

喻明美¹, 谢正生^{1,2}

(1. 华南农业大学 林学院, 广州 510642; 2. 华南农业大学 经济林研究中心, 广州 510642)

摘要:通过对广州白云山五种典型森林林地的土壤渗透性能进行测定分析,结果表明,广州白云山林地0—60 cm土层的初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率的变化范围分别为:2.26~3.91, 1.31~2.09, 1.51~2.46 mm/min。其土壤入渗速率与入渗时间表现为幂函数关系。土壤渗透率的空间分布在0—20 cm、20—40 cm、40—60 cm三个不同土层间以及在不同森林类型间均无显著性差异。在森林类型间的大小顺序为:天然次生阔叶纯林>人工阔叶林>人工针叶林>天然次生阔叶混交林>人工灌丛草地。土壤初渗速率、稳渗速率和平均渗透速率的大小受其它物理性状的影响,分别与土壤总孔隙度、非毛管孔隙度、石砾含量呈极显著正相关关系,与容重呈显著负相关。其中非毛管孔隙度和石砾含量是主导因子。该研究可为城市森林区的水土保持功能评价和水源涵养功能测算提供参考依据。

关键词:土壤渗透率; 城市森林; 初渗速率; 水土保持; 水源涵养

中图分类号:S715.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)01-0153-04

Study on Soil Permeability Capability of Five Forest Types in Baiyunshan Scenic Spot of Guangzhou

YU Ming-mei¹, XIE Zheng-sheng^{1,2}

(1. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Center for Non-timber Forest Research, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The soil permeability of five typical forest types were studied in Baiyunshan scenic spot of Guangzhou. The results showed that the soil initial infiltration rates, stable infiltration rates and average infiltration rates of 0—60 cm soil layers varied 2.26~3.91 mm/min, 1.31~2.09 mm/min, 1.51~2.46 mm/min, respectively. Soil infiltration rate $f(t)$ versus time (t) coefficients regression equation performs exponent relation. The soil infiltration had no significant difference among 0—20 cm, 20—40 cm and 40—60 cm soil layers. There was no significant difference in soil infiltration among the different forest types, too. The sequence of soil infiltration of forest types was natural secondary pure broad-leaved forest > broad-leaved plantation > coniferous plantation > natural secondary mixed forest > shrub-grassland plantation. The soil initial infiltration rates, stable infiltration rates and average infiltration rates influenced by the other soil physical properties, they assumed the positive correlativity with total porosity, non-capillary porosity and the content of rock fragment, while bulk gravity had the inverse correlations, respectively. Among them, the non-capillary porosity and the content of rock fragment were dominant factors. The study can provide reference for evaluation of water conservation and calculation of water conservation in urban forest.

Key words: soil infiltration rate; urban forest; soil initial infiltration rate; soil and water conservation; water conservation

土壤的渗透能力是土壤水文效应评价的重要指标,是反映森林涵养水源功能的重要水文参数^[1-2]。土壤渗透性与降雨和灌溉水进入土壤以及在土壤中的贮存情况有关。土壤渗透性是描述土壤入渗快慢

的极为重要的土壤物理特征参数之一。土壤渗透性越好,地表径流就会越少,土壤流失量就相应减少^[1,3]。所以提高土壤的渗透能力,是降低地表径流及防治水土流失的关键措施^[4]。有关土壤渗透能力

收稿日期:2010-10-22

修回日期:2010-11-27

资助项目:“十一五”国家林业科技支撑计划子课题“珠三角城市森林修复与改造建设技术试验示范”(2006BAD03A1701);广州市白云山风景名胜管理局项目“广州市白云山风景名胜生态资源保护与开发的可持续发展研究”(4400-H03055)

作者简介:喻明美(1985—),女,贵州都匀人,硕士研究生,主要从事森林培育的研究。E-mail:yumingmei85@163.com

通信作者:谢正生(1965—),男,江西新干人,副教授,主要从事森林土壤和人工林生态系统营建技术研究。E-mail:zsxie@scau.edu.cn

的研究,已有较多报道,主要从不同山区林地类型^[2,5-7]、不同区域^[3,8]、不同土地利用方式^[9-10]、不同措施^[11]及其影响因子^[12-13]的角度进行研究。影响土壤渗透率的因素较多。其中,孔隙结构对降雨入渗起决定性作用,土壤质地、土壤结构是影响土壤水分入渗特征的主导因素,另外,土壤有机质含量对土壤入渗的影响也较大^[1]。但有关城市森林区的土壤渗透性能的研究少见报道。

城市森林对调节改善城市生态环境,尤其是对保持水土和涵养水源具有重要作用。广州白云山是广州市区最大的城市森林区,面积 21 km²。自 1995 年进行林分改造以来,已逐步形成具有岭南特色的多树种、多层次、多色彩、多香味、多功能的南亚热带季风常绿阔叶林的森林景观^[14]。其土壤的渗透能力是评价白云山对广州城市地下水补给功能的重要指标。本文主要分析广州白云山不同土壤层次、不同森林类型的渗透率及其主要的影响因子。旨在为处于南亚热带地区的类似城市森林区的水土保持功能的评价和水源涵养功能的测算提供理论依据。

1 研究区概况

广州市白云山风景名胜区是国家 4A 级旅游景

区,位于广州市东北部,地理坐标约为北纬 23°09′—23°11′,东经 113°16′—13°19′,南北长约为 7 km,东西宽约 4 km,全区总面积 20.98 km²。整个山体南北走向,由海拔 382 m 的主峰摩星岭以及海拔 250 m 以上的龙虎岗、白云顶、牛牯岭、五雷岭、将军岭、牛归栏等山峰组成。该区地处南亚热带季风海洋性气候区,年均气温 21.4~21.8℃,极端最低气温 0℃,极端最高气温 38.7℃。年降水量 1 689.3~1 876.5 mm,且 4—9 月份降水量占全年降水量的 85% 以上,年均湿度 79%。土壤为流纹状花岗岩、石英岩、砂页岩等发育的赤红壤,pH 值为 4.0~5.5,呈酸性^[14]。试验地的基本情况见表 1。

主要树种为中华锥(*Castanopsis chinensis*)、罗浮柿(*Diospyros morrisiana*)、降真香(*Acronychia pedunculata*)、楝叶吴茱萸(*Evodia glabrifolia*)、鸭脚木(*Schefflera octophylla*)、油茶(*Camellia oleifera*)、尖叶杜英(*Elaeocarpus apiculatus*)、藜蒴(*Castanopsis fissa*)、木荷(*Schima superba*)、加勒比松(*Pinus caribaea*)、大叶相思(*Acacia auriculiiformis*)、窿缘桉(*Eucalyptus exserta*)、红荷(*Schima wallichii*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)、石栎(*Lithocarpus glabra*)。

表 1 采样点林分的基本情况

采样地点	森林类型	主要树种组成	平均胸径/cm	平均树高/m	平均冠幅/m
摩星岭上	天然次生阔叶纯林	中华锥	19.63	6.91	3.62
摩星岭下	天然次生阔叶纯林	中华锥	23.55	10.13	7.00
山庄旅舍后山	天然次生阔叶纯林	中华锥	7.15	5.14	2.78
五雷岭	天然次生阔叶纯林	楝叶吴茱萸	11.33	8.95	3.56
山顶公园上	天然次生阔叶混交林	罗浮柿+降真香	7.31	5.50	2.98
山顶公园下	天然次生阔叶混交林	楝叶吴茱萸+罗浮柿+鸭脚木	9.02	7.18	3.22
摩云路	天然次生阔叶混交林	木荷+罗浮柿	6.71	7.01	2.52
明珠楼	人工阔叶林	大叶相思	8.29	7.20	3.00
黄婆洞 I	人工阔叶林	木荷	10.45	8.83	2.84
元下田上	人工阔叶林	红荷+降真香	2.75	3.03	1.76
元下田中	人工阔叶林	樟树+石栎	3.36	3.96	2.01
元下田下	人工阔叶林	木荷	12.58	11.57	3.67
大草坪	人工阔叶林	楝叶吴茱萸+油茶+尖叶杜英	8.93	8.18	2.99
千尺嶂	人工阔叶林	藜蒴+油茶	5.87	5.79	2.11
白云松涛上	人工针叶林	加勒比松	8.76	6.82	2.77
白云松涛下	人工针叶林	加勒比松	7.61	6.92	2.37
黄婆洞 II	人工灌丛草地	茶	—	—	—
云台花园	人工灌丛草地	疏林草地	—	—	—

2 研究方法

2010 年 1 月至 3 月在广州白云山选择了 18 个有典型代表性的林分样地(面积 10 m×10 m),并进行植被调查和土壤采样。在设置的样地内按 0—20 cm、20—40 cm、40—60 cm 分层取土壤样品,每层 3

个重复。采用环刀法测定和计算土壤容重、水分含量、孔隙度等物理性质^[15]。渗透率采用环刀法测定和计算,环刀规格为 20 cm²×5 cm。在室外用环刀取原状土,带回室内浸入水中 12 h(采样地的土壤属于壤土),浸水时,保持水面与环刀上口平齐,勿使水淹到环刀上口的土面。到预定时间将环刀取出,去掉盖

子,上面套上一个大小相似的空环刀。接口处先用胶布封好,严防从接口处漏水,然后将接合的环刀放到漏斗上,漏斗下面承接烧杯。往上面的空环刀中加水,水面比环刀口低 1 mm,即水层厚 5 cm。加水后,自漏斗下面滴下第一滴水时开始计时,之后每隔 2 min 测量并记录一次通过土柱渗透出的水量。测定过程中要不断将上面环刀水面加至原来高度,同时记录水温(°C)。一直测到 4 个单位时间内渗出水量相等时为止^[15]。

3 结果与分析

3.1 白云山森林土壤的渗透率分析

以广州白云山各采样点不同土壤层次渗透率的测定结果(如图 1),做方差分析和多重比较。结果表明,初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率在不同层次间均无显著差异($P_r > 0.05$)。同一层次的初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率的大小顺序均为:初渗速率 > 平均渗透速率 > 稳渗速率。

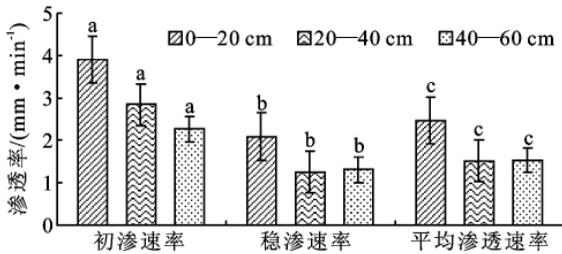


图 1 广州白云山森林土壤不同层次渗透率及多重比较结果
注:图中小写字母为显著水平 5% 水平上的多重比较结果,土层间的相同字母表示差异不显著。

表 3 渗透率与其它土壤性状指标的相关系数

相关系数	容重	总孔隙度	毛管孔隙度	非毛管孔隙度	石砾含量	质地	有机质
初渗速率	-0.3800**	0.3787**	-0.2131	0.5620**	0.4711**	0.0063	-0.0095
稳渗速率	-0.5111**	0.5114**	-0.1787	0.6824**	0.4202**	0.0190	0.0738
平均渗透速率	-0.4934**	0.4935**	-0.2052	0.6814**	0.4708**	0.0268	0.0499

注: * 和 ** 分别表示在 5% 和 1% 水平上显著(下同)。

3.4 影响土壤渗透的主导因子筛选

影响土壤渗透性能的因子是综合的。为了更加明确各土壤因子对土壤渗透率的影响作用,进一步应用逐步回归分析法以筛选土壤渗透率主导因子。

对渗透率(mm/min)与容重(g/cm³)、总孔隙度(%)、毛管孔隙度(%)、非毛管孔隙度(%)、土壤通气孔隙度(%)、石砾含量(%)、质地(g/kg)做逐步回归分析。应用 SAS 系统进行多元线性逐步回归分析,自变量取舍标准为显著性水平 $\alpha = 0.05$,结果如表 4。结果表明,模拟模型达到极显著水平。分别得出对初渗速率(y_1)、稳渗速率(y_2)、平均渗透速率(y_3)与非毛管孔隙度(x_1)、石砾含量(x_2)较理想的回归模型:

3.2 不同森林类型土壤渗透率分析及模型拟合

分别对广州白云山的天然次生阔叶纯林、天然次生阔叶混交林、人工阔叶林、人工针叶林和人工灌丛草地 5 种森林类型的渗透性指标做多重比较,结果如表 2。结果表明,不同森林类型间的初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率均无显著差异。

表 2 广州白云山不同森林类型的土壤渗透率多重比较 mm/min

森林类型	初渗速率	稳渗速率	平均渗透速率
天然次生阔叶纯林	4.11a	1.87a	2.57a
人工阔叶林	3.01a	1.57a	1.93a
人工针叶林	1.37a	0.67a	0.85a
天然次生阔叶混交林	0.91a	0.55a	0.65a
人工灌丛草地	0.20a	0.18a	0.29a

注:表中同列相同小写字母表示差异不显著。

进一步模拟分析广州白云山森林土壤渗透率变化,选用模型方程为

$$f(t) = at^{-b}$$

式中: $f(t)$ ——入渗速率; t ——入渗时间; a, b ——参数。模拟分析结果为

$$f(t) = 3.7095t^{-0.3012} \quad (R^2 = 0.9014)$$

3.3 土壤渗透的影响因子分析

选择土壤容重、孔隙度、石砾含量、质地、有机质对渗透率做相关性分析,结果如表 3。结果表明,初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率随其它土壤性状指标的相关性表现一致。渗透率除了与毛管孔隙度、质地、有机质、毛管持水量无显著性相关外,其余均有极显著相关。

$$y_1 = 0.3348x_1 + 0.0757x_2$$

$$y_2 = 0.2120x_1 + 0.0314x_2$$

$$y_3 = 0.2454x_1 + 0.0426x_2$$

从各个变量的偏相关确定系数(偏 R^2)来看,土壤中各因子与初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率的偏相关关系均为:非毛管孔隙度 > 石砾含量。由此可见,通气孔隙度是影响渗透率最主要的因子。

4 结论与讨论

4.1 结论

不同土壤层次的初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率无明显差异,其变化范围分别为:2.26 ~ 3.91

mm/min、1.31~2.09 mm/min、1.51~2.46 mm/min。不同森林类型的初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率也无显著性差异。三者在不同森林类型间的大小顺序均为:天然次生阔叶纯林>人工阔叶林>人工针叶林>天然次生阔叶混交林>人工灌丛草地。土壤入渗速率 $f(t)$ 对入渗时间(t)的关系表现为乘幂形

式,回归方程为:

$$f(t) = 3.7095t^{-0.3012} (R^2 = 0.9014)。$$

土壤初渗速率、稳渗速率和平均渗透速率分别与土壤总孔隙度、非毛管孔隙度、石砾含量均有极显著正相关,与容重呈显著负相关。其中,非毛管孔隙度和石砾含量是主导影响因子。

表 4 渗透率与土壤因子的逐步回归分析结果

指标	变量(参数)	参数估计值	偏 R^2	模型 R^2	$C(p)$ 值	F 值	$P_r > F$
初渗速率	非毛管孔隙度(x_1)	0.3348	0.3158	0.3158	23.8359	25.39**	<0.0001
	石砾含量(x_2)	0.0757	0.1545	0.4703	8.4807	15.76**	0.0002
稳渗速率	非毛管孔隙度(x_1)	0.2120	0.4656	0.4656	25.7559	47.93**	<0.0001
	石砾含量(x_2)	0.0314	0.1049	0.5705	12.3007	13.18**	0.0006
平均渗透速率	非毛管孔隙度(x_1)	0.2453	0.4643	0.4643	36.5423	47.67**	<0.0001
	石砾含量(x_2)	0.0426	0.1408	0.6051	15.0141	19.25**	<0.0001

4.2 讨论

关于不同土层间的渗透率变化不显著已有报道^[5]。同一层次的初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率的大小顺序均为:初渗速率>平均渗透速率>稳渗速率。这说明土壤的渗透速度刚开始比较大,至后来逐渐变小。这可能是由于随着水分的下渗,上层颗粒也逐渐下移,阻塞孔隙,水分下渗的速度越来越慢。本文测定广州白云山五种不同森林类型的渗透率虽有差异,但未达到显著水平。这可能是与森林组成树种的根系分布有关。广州白云山土壤渗透率均较小,土壤渗水能力有待进一步提高。

关于土壤渗透性能影响因子的相关报道各有差异。本文与刘广路等^[7]、王景燕等^[3]的研究结果基本一致。但本文研究得出渗透率与有机质、毛管孔隙度无显著性相关。可能与广州市白云山林下凋落物少,受人为干扰较为严重有关。林代杰等^[9]也研究报道过毛管孔隙度对土壤渗透率无显著性影响。土壤的渗透性能取决于非毛管孔隙,非毛管孔隙可使降水凭借重力和一定压力梯度向土体渗透起着主导作用^[6]。时忠杰等^[13]认为在 0—40 cm 土层,当砾石体积含量小于 15%~20%时,稳渗速率随砾石含量增加而增加;当砾石体积含量大于 15%~20%时,土壤稳渗速率随砾石含量增加而减小。在 40 cm 以下土层,稳渗速率随砾石含量增加而增加。本文研究得出在 0—60 cm 土层的土壤渗透率与石砾含量呈极显著正相关。

参考文献:

- [1] 王艳红,宋维峰,李财金.不同竹林地土壤水分入渗研究[J].水土保持研究,2009,16(2):165-168.
- [2] 刘道平,陈三雄,张金池,等.浙江安吉主要林地类型土壤渗透性[J].应用生态学报,2007,18(3):493-498.
- [3] 王景燕,龚伟,胡庭兴,等.川南天然常绿阔叶林人工更

新后的土壤水源涵养功能[J].浙江林学院学报,2007,24(5):569-574.

- [4] 刘艇,李维义,王继红,等.侵蚀与非侵蚀黑土入渗性能差异性研究[J].水土保持学报,2010,24(2):83-86.
- [5] 霍小鹏,李贤伟,张健,等.川西亚高山人工针叶林枯落物持水与土壤渗透性能[J].长江流域资源与环境,2010,19(5):540-546.
- [6] 郝占庆,王力华.辽东山区主要森林类型林地土壤涵养水性能的研究[J].应用生态学报,1998,9(3):237-341.
- [7] 刘广路,范少辉,漆良华,等.不同类型毛竹林土壤渗透性研究[J].水土保持学报,2008,22(6):44-47.
- [8] 杨海龙,朱金兆,毕利东.三峡库区森林流域生态系统土壤渗透性能的研究[J].水土保持学报,2003,17(3):63-65.
- [9] 林代杰,郑子成,张锡洲,等.不同土地利用方式下土壤入渗特征及其影响因素[J].水土保持学报,2010,24(1):33-36.
- [10] 周维,张建辉.金沙江支流冲沟侵蚀区四种土地利用方式下土壤入渗特性研究[J].土壤,2006,38(3):333-337.
- [11] 杨永辉,赵世伟,雷廷武,等.耕作对土壤入渗性能的影响[J].生态学报,2006,26(5):1624-1630.
- [12] 杜阿朋,何常清,管伟,等.六盘山叠叠沟小流域土壤稳渗速率及其影响因子[J].林业科学,2009,45(10):25-31.
- [13] 时忠杰,王彦辉,于澎涛,等.六盘山森林土壤中的砾石对渗透性和蒸发的影响[J].生态学报,2008,28(12):6090-6098.
- [14] 古炎坤.生态资源可持续发展理论与实践:广州市白云山国家重点风景名胜区[M].广州:中国林业出版社,2005:160-174.
- [15] 国家林业局.中华人民共和国林业行业标准:森林土壤分析方法[M].北京:中国标准出版社,1999:22-24,32-33.