

极端干旱区小城镇绿地土壤水分入渗性能研究

——以阿拉尔市为例

许丽, 管瑶, 孙海燕, 侯晓华, 姚宝林

(塔里木大学 水利与建筑工程学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要:为进一步促进阿拉尔生态城市建设和保证城市可持续发展,以阿拉尔市绿地土壤为研究对象,选取校园、市政、居民区、道路绿化带4个功能区绿地土壤,用环刀法测定土壤水分入渗过程并做了模型拟合和分析。结果表明:4个功能区绿地土壤水分入渗性能存在明显差异,稳定入渗率为道路绿化带绿地(0.31 cm/min) > 校园绿地(0.05 cm/min) > 市政绿地(0.02 cm/min) > 居民区绿地(0.01 cm/min);应用常用的入渗模型进行了拟合,通用模型及Kostiakov模型能较好地描述4个功能区的绿地土壤入渗特征,Philip模型在本区的适用性最差。研究结果为阿拉尔市绿地土壤的管理提供一定依据。

关键词:土壤水分入渗;入渗模型;极端干旱;绿地土壤;小城镇

中图分类号:S152.7⁺2

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2017)04-0240-05

Soil water infiltration of small town green land in extreme arid region: A case study of Alar City

XU Li, GUAN Yao, SUN Haiyan, HOU Xiaohua, YAO Baolin

(College of Water Conservation and Architectural Engineering, Tarim University, Alar 843300, China)

Abstract: In order to further promote the construction of Alar eco-city and ensure the sustainable development of the city, this paper took the urban area of Alar city as the object of study, and selected four types of functional green land soil of the campus, municipal, residential and road greening areas to measure the soil water infiltration process by cutting ring method, and also the model fitting and analysis were made. It is found that there exist evidential differences in soil water infiltration between the four functional green land, and the stable infiltration rates are ranked as road green belt(0.31 cm/min) > campus(0.05 cm/min) > municipal(0.02 cm/min) > residential area(0.01 cm/min); Common infiltration models were adopted to simulate the infiltration progress, and the general model and Kostiakov model are the most suitable to describe the characteristics of soil infiltration in the green land of four functional areas, but the Philip model is not suitable to the study area. The research results provide a basis for soil green management in Alar city.

Key words: soil water infiltration; infiltration model; extreme arid; green land soil; small town

绿地是城市建设的重要组成部分,不仅可以美化环境,净化空气,防尘固沙,还可以调节小气候,为人们提供休闲、娱乐场所等多种功能^[1]。因此,随着城市建设的不断发展,城市园林绿化,生活小区,办公场所等地对绿地的需求也越来越大。

绿地草对水分要求比较敏感,且根系层较浅(80%根系分布于0~20 mm深土壤),绿地草灌溉量只需满足湿润根系层即可。这样,一方面有利于

高效节约用水;另一方面,可以减轻径流冲刷坪床,并降低肥料的淋溶,进而减少对环境的影响^[2]。灌溉量过大,会抑制根系呼吸,加重病虫害,影响草坪生长。

通过研究可以掌握绿地土壤的入渗率,正确的对植物进行浇灌,这样可以保证水分能被植物充分吸收,也可以在保证灌溉充足的情况下,节约水资源。对于极端干旱的阿拉尔市来说,这点至关重要。

收稿日期:2017-04-24; 修回日期:2017-05-20

基金项目:塔里木大学校长基金青年创新资金项目(TDZKQNZD201504)

作者简介:许丽(1983-),女,新疆阿拉尔人,硕士,副教授,主要从事农业水土研究。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

阿拉尔市位于塔里木河上游,塔克拉玛干沙漠的西北缘,年平均气温 10 ~ 12℃,年平均降水量只有 50 mm,而年蒸发量达 1 700 mm 以上,属暖温带大陆干旱荒漠气候,土壤以沙壤土为主,保水性较差。在这种特定的气候条件下,由于阿拉尔市的快速发展,绿地草种植面积在逐年扩大,进而使灌溉用水量加大,

管理维护成本也在逐渐增加,必然与目前阿拉尔市的特定气候条件和水资源短缺现状形成供需矛盾,加之不合理的灌溉管理将使得矛盾更加凸显。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 试验选取极端干旱区小城镇—阿拉尔市 4 个不同功能区(居民区,市政,校园,道路绿化带)的绿地土壤作为研究对象,每个功能区根据绿地地表覆盖物的稀疏,日常人为踩踏扰动情况选取样点,每个功能区样点数不少于 6 个(见表 1)。

表 1 样点基本情况

功能区	试验点	样点数	植被	踩踏情况
居民区	新龙花园	3	草坪(小榆树)	较轻
	大上海国际花园	3	草坪	较轻
市政	市政府周边	6	草坪(根系发达)	较重
校园	工科楼周边绿地	3	草坪(稀疏)	严重
	综合楼周边绿地	3	草坪(稠密)	严重
	新图书馆周边绿地	3	草坪+梨树	较轻
道路绿化带	军垦大道右侧	6	草坪+白杨树	较重

土壤入渗试验于 2015 年 4 月开始进行,试验开始前在每个样点采用土钻取不同深度的土(5,10,20 cm),因草的根系大约为 20 cm 的深度,所以取的是 20 cm 以内的土壤约 2 kg 带回实验室。采用烘干法测定各层土壤含水量,土壤容重采用体积为 200 cm³的环刀测定,土壤孔隙度根据:孔隙度=(1-容重/比重)×100% 计算,其中土壤比重取值为

2.65 g/cm³。

1.2.2 土壤入渗测定方法 双环法(内环直径 27 cm,外环直径 60 cm)实地测定土壤水分入渗率(见图 1),测定时间为 125 min,入渗过程中分时段记录入渗水量,在试验开始后的前 2 min,每隔 30 s 观测 1 次;2 至 30 min 内,每隔 1 min 观测 1 次;30 至 125 min 内每隔 5 min 观测 1 次。



图 1 实地入渗率测定

1.2.3 数据分析 采用达西定律计算公式计算入渗速率,应用 Grapher, Excel 进行土壤入渗过程模拟、数据相关分析和作图^[3]。

达西定律公式:

$$K = \frac{Q}{A \cdot t} \tag{1}$$

式中: K 为 t 时间内的人渗系数,mm/min; Q 为 t 分

钟进入内环的水量,mm; A 为内环面积,cm²; t 为记录水量间隔时间,min。

Kostiakov 公式:

$$f = at^{-b} \tag{2}$$

式中: f 为 t 时刻入渗速率,mm/min; a 、 b 为参数; t 为入渗时间,min。

Philip 公式:

$$f = 0.5St^{-0.5} + A$$

(3)

式中： S 为吸水率， $\text{mm}/\text{min}^{0.5}$ ； t 为入渗时间， min ； A 为稳渗速率， mm/min 。

Horton 公式：

$$f = i_c + (i_0 - i_c)e^{-kt}$$

(4)

式中： i_c 、 i_0 分别为稳渗速率， mm/min 和初渗速率； k 为参数； t 为入渗时间， min 。

通用经验公式：

$$f = a + bt^{-n}$$

(5)

式中： a 、 b 、 n 为根据试验求得的模型参数； t 为入渗时间， min 。

2 结果与分析

2.1 不同功能区绿地土壤物理性质

土壤容重与土壤质地、压实状况和土壤颗粒密度等因素有关,土壤越疏松多孔,容重越小,土壤越紧实,容重越大。阿拉尔市各功能区绿地土壤容重在 $1.04 \sim 1.37 \text{ g}/\text{cm}^3$ 之间,表现为校园绿地 > 道路绿化带绿地 > 市政绿地 > 居民绿地(见表 2),经资料查询 79% 以上绿地土壤的容重均在 $1.3 \text{ g}/\text{cm}^3$ 以上,阿拉尔市绿地土壤容重部分功能区基本与这一研究相当,其余功能区土壤容重相对较低的原因主要还是因为阿拉尔市是一个新建城市,地势偏远而人口稀少所导致。

土壤含水率随深度的不同而发生变化,所以在计算土壤含水率的时,取土壤不同深度(5、10、20 cm)测定,从表 2 中可以看出居民区绿地,市政绿地,校园绿地,道路绿化带的土壤含水率均为依土壤深度的增加而增大,这是由于该地区属于极端干旱区,土壤表面蒸发水分较大所致。

土壤总孔隙度大小反映了土壤疏松程度及水分和空气容量的大小,影响土壤与大气之间水和气体的交换^[4]。孔隙度能较好地反映土壤的入渗性能,绿地土壤渗透速率随土壤孔隙度的增加而增加。阿拉尔市绿地土壤孔隙度 48.30% ~ 60.75% 之间。且表现

为:居民区绿地(60.75%) > 市政绿地(52.08%) > 道路绿化带绿地(50.57%) > 校园绿地(48.30%)(见表 2),这是由于各功能区周边人为和管理因素的影响,如校园绿地为学生活动的场所,市政绿地和道路绿化带绿地成为市民乘凉休闲的场所,导致踩踏较严重,而真正的市内居民区绿地由于大部分属于新建,所以踩踏较轻。

表 2 不同功能区绿地土壤物理性质

实验点	土壤含水率		土壤容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	总孔隙 度/%
	深度/cm	含水率/%		
居民区	5	8.6	1.04	60.75
	10	9.8		
	20	13.1		
市政	5	12.7	1.27	52.08
	10	15.4		
	20	17.1		
校园	5	12.2	1.37	48.30
	10	12.8		
	20	15.0		
道路绿化带	5	7.5	1.31	50.57
	10	8.9		
	20	12.8		

2.2 不同功能区绿地土壤水分入渗性能

根据实地测定数据得出 4 个功能区绿地土壤入渗率随时间的变化规律(见图 2 ~ 5)。从 4 个功能区土壤入渗率图中可以看出,不同点的稳定入渗率呈现初始下降快,中间上下波动,之后趋于平缓的趋势。在刚开始入渗的阶段,约前 20 min,土壤水分入渗率下降较大,约 40 min 后开始慢慢平缓,水分在毛管力和重力的作用下,在土壤中不稳定的流动,并且逐步填充表层以下土壤孔隙;约 90 ~ 125 min 趋于稳定。李卓等^[5]的研究表明,土壤入渗速率可以在 120 min 左右达到相对稳定,这均与本研究结果相似。

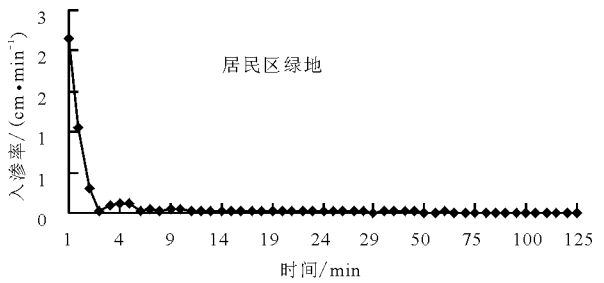


图 2 居民区绿地土壤入渗率

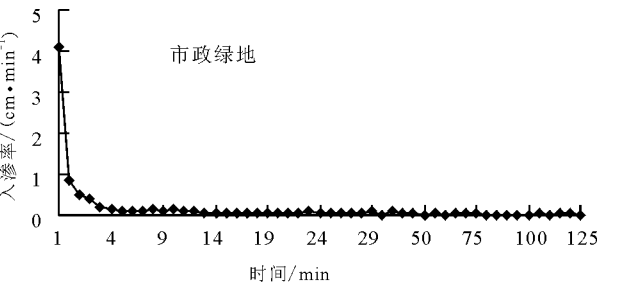


图 3 市政绿地土壤入渗率

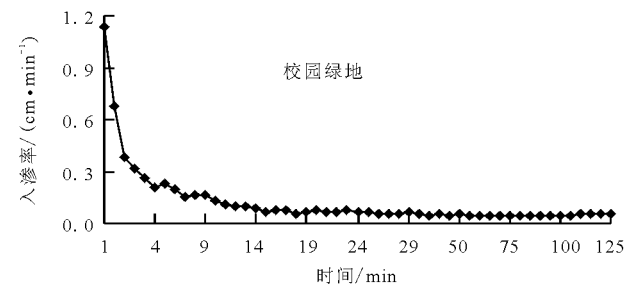


图4 校园绿地土壤入渗率

初始入渗率、稳定入渗率和平均入渗率是评价土壤入渗中最常用的3个指标^[6-8]。由于不同功能区土壤入渗性能之间有较大差异,为了更好地表述这种差异,将试验结果取平均值进行比较分析以得出相应结论。如表3所示,初渗速率采用第1分钟时的入渗率表示,稳渗速率为土壤入渗达到稳定值时的入渗率,平均入渗率则是一定时间内土壤水分入渗总量与时间的比值^[9]。4个功能区绿地土壤测得的土壤入渗性能差异较大,初始速率中,其值呈现道路绿化带绿地最大,居民区绿地次之,市政绿地第3,校园绿地最小。原因可能与不同区域土壤初始含水率和孔隙度有关。第20 min入渗率中,相较于初渗率以居民绿地下降幅度最大(平均下降53倍),市政绿地次之(平均下降17.4倍),校园绿地第3(平均下降9.71倍),道路绿化带绿地最小(平均下降3.07倍)。这可能主要是由于道路绿化带绿地土壤容重相对较大,居民绿地下降最大可能源于其初始含水率相对较小。稳渗速率中,其数值表现为道路绿化带绿地最大,校园绿地次之,市政绿地第3,居民区绿地最小。平均入渗率中,其数值表现为4个功能区绿地土壤的平均入渗速率呈现道路绿化

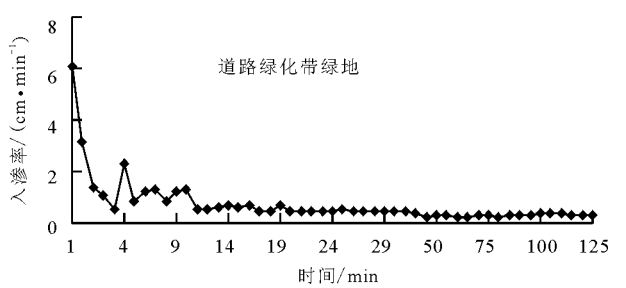


图5 道路绿化带绿地土壤入渗率

带绿地(0.77 cm/min) > 市政绿地(0.17 cm/min) > 校园绿地(0.13 cm/min) > 居民区绿地(0.09 cm/min)的规律。这主要由于道路绿化带绿地前期入渗速率较大,加之此指标为整个入渗过程的均值^[10]

表3 不同功能区绿地土壤入渗性能结果

功能区	初始速率 cm/min	第20 min入 渗率 cm/min	稳渗速率 cm/min	平均入渗率 cm/min
居民区	1.06	0.02	0.01	0.09
市 政	0.87	0.05	0.02	0.17
道路绿化带	1.35	0.44	0.31	0.77
校 园	0.68	0.07	0.05	0.13

2.3 不同功能区绿地土壤水分入渗模型分析

国内外学者在土壤入渗研究中建立了许多入渗模型,模拟土壤入渗过程随时间变化特征^[11]。不同入渗模型都具有其适用性,本研究选择 Kostiakov 模型、Philip 模型、Horton 模型和通用经验模型对不同灌水和地表覆盖土壤入渗过程进行拟合,分析不同模型的适宜性和准确度^[12]。模拟结果见表4。

表4 不同功能区绿地土壤水分入渗模型拟合结果

功能区	Kostiakov 模型 $y = at^{-b}$	Philip 模型 $y = 0.5St^{-0.5} + A$	Horton 模型 $y = i_c + (i_0 - i_c) e^{-kt}$	通用模型 $y = a + bt^{-n}$
道路绿化带	$y = 3.324t^{-0.667}$ $R^2 = 0.846$	$y = 3.368t^{-0.5} - 0.189$ $R^2 = 0.809$	$y = 0.550 + 12.425e^{-1.621t}$ $R^2 = 0.842$	$y = 0.385 + 2.679t^{-1.035}$ $R^2 = 0.886$
校园	$y = 0.653t^{-0.754}$ $R^2 = 0.980$	$y = 0.706t^{-0.5} - 0.07$ $R^2 = 0.922$	$y = 0.076 + 1.643e^{-0.951t}$ $R^2 = 0.938$	$y = 0.033 + 0.6t^{-0.882}$ $R^2 = 0.988$
居民区	$y = 0.775t^{-1.494}$ $R^2 = 0.967$	$y = 1.115t^{-0.5} - 0.216$ $R^2 = 0.702$	$y = 0.020 + 5.193e^{-1.760t}$ $R^2 = 0.986$	$y = 0.007 + 0.762t^{-1.517}$ $R^2 = 0.968$
市政	$y = 1.056t^{-1.950}$ $R^2 = 0.988$	$y = 1.888t^{-0.5} - 0.352$ $R^2 = 0.649$	$y = 0.065 + 16.859e^{-2.867t}$ $R^2 = 0.987$	$y = 0.052 + 0.946t^{-2.094}$ $R^2 = 0.995$

从土壤水分入渗模型拟合结果来看,道路绿化带绿地和校园绿地表现为通用模型 > Kostiakov 模型 > Horton 模型 > Philip 模型;居民区绿地表现为 Horton 模型拟合优于通用模型优于 Kostiakov 模型优于 Philip 模型;市政绿地表现为 Kostiakov 模型 > 通用模型 > Horton 模型 > Philip 模型。由此可以看出通用模型及 Kostiakov 模型能较好的描述阿拉尔市绿地土壤的入渗特征^[13]。

3 结论与讨论

土壤水分入渗一直是土壤水运动研究的热点内容,但由于研究方法 & 区位等不一致,得出的结果也不尽相同^[14-15]。本试验采用双环入渗法测定极端干旱区小城镇不同功能区绿地土壤入渗性能,并对试验结果进行分析和比较,得到以下结论:

(1)阿拉尔市各功能区绿地土壤容重在 $1.04 \sim 1.37 \text{ g/cm}^3$ 之间,表现为校园绿地 > 道路绿化带绿地 > 市政绿地 > 居民绿地。居民区绿地,市政绿地,校园绿地的土壤含水率均为依土壤深度的增加而增大,而道路绿化带绿地的土壤含水率随深度的增加刚好相反;阿拉尔市绿地土壤孔隙度 $48.30\% \sim 60.75\%$ 之间,且表现为:居民区绿地 > 市政绿地 > 道路绿化带绿地 > 校园绿地。

(2)4 个功能区绿地土壤入渗模型以通用模型拟合最优,其次是 Kostiakov 模型及 Horton 模型,Philip 模型拟合效果最差。

(3)4 个功能区绿地土壤测得的土壤入渗性能差异较大,初始速率中,其值呈现道路绿化带绿地最大,居民区绿地次之,市政绿地第 3,校园绿地最小。第 20 min 入渗率中,相较于初渗率以居民绿地下降幅度最大,市政绿地次之(校园绿地第 3,道路绿化带绿地最小。稳渗速率中,其数值表现为道路绿化带绿地最大,校园绿地次之,市政绿地第 3,居民区绿地最小。平均入渗率中,其数值表现为 4 个功能区绿地土壤的平均入渗速率呈现道路绿化带绿地 > 市政绿地 > 校园绿地 > 居民区绿地的规律。

参考文献:

- [1] 伍海兵,方海兰. 绿地土壤入渗及其对城市生态安全的重要性[J]. 生态学杂志,2015,34(3):894-900.
- [2] 雷锦涛. 绿地系统对城市生态环境影响浅析[J]. 城市道桥与防洪,2017(2):1009-7716.
- [3] 李义,程本军. 基于土壤入渗模型的研究[J]. 黑龙江水利科技,2013,41(3):13-14.
- [4] 魏恒,赵成义,孙栋元. 塔里木河上游绿洲典型地表特征土壤水分入渗性能研究[J]. 冰川冻土,2010,32(4):737-843.
- [5] 李卓,吴普特,冯浩,等. 不同黏粒含量土壤水分入渗能力模拟试验研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(3):71-77.
- [6] 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(2):33-36.
- [7] 陈家林,孔玉华,裴丙,等. 太行山低山丘陵区不同植被类型土壤渗透特性及影响因素[J]. 水土保持研究,2016,23(4):60-65.
- [8] 赵维俊,刘贤德,张学龙,等. 祁连山西水林区亚高山灌木丛土壤入渗性能研究[J]. 水土保持学报,2015,29(2):106-110.
- [9] 李爱利,蔡焕杰,李志军. 灌水次数对土壤入渗影响的试验分析[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(1):18-21.
- [10] 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.
- [11] 刘目兴,聂艳,于婧. 不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程[J]. 生态学报,2012,32(3):871-878.
- [12] 康金林,杨洁,刘窑军,等. 初始含水率及容重影响下红壤水分入渗规律[J]. 水土保持学报,2016,30(1):122-126.
- [13] 李建兴,何丙辉,梅雪梅,等. 紫色土区坡耕地不同种植模式对土壤渗透性的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(3):725-731.
- [14] 朱良君,张光辉,任宗萍. 4 种土壤入渗测定方法的比较[J]. 水土保持通报,2012,32(6):163-167.
- [15] 周蓓蓓,邵明安,王全九. 不同碎石种类对土壤入渗的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(10):141-148.