

绿化屋顶轻量基质持水特性研究

吕华芳¹, 唐莉华¹, 孙挺¹, 陈建刚²

(1. 清华大学 水利水电工程系 水沙科学与水利水电工程国家重点试验室, 北京 100084; 2. 北京市水利科学研究所, 北京 100044)

摘 要: 绿化屋顶具有减缓雨洪、调节局部气候、净化环境等功能, 在国内外各大城市得到广泛应用。轻量基质是绿化屋顶普遍采用的代替天然土壤的种植层基质, 是屋顶水分涵养、植物生长的主要载体。有关轻量基质的持水性能研究目前尚不多见。结合在北京市某大学办公楼楼顶平台所建的绿化屋顶示范区, 对种植层轻量基质的持水特性进行了相关试验, 得出了表征其持水性能的相关参数, 并用示范区气象和水分自动观测数据对试验测得的基质持水特性进行了验证, 结果表明: 绿化屋顶所用的轻量基质容重远低于普通土壤, 而持水效果很好。该文研究成果可为绿化屋顶的水热规律分析及推广应用提供理论参考。

关键词: 绿化屋顶; 轻量基质; 持水试验; 水分特征曲线

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0223-03

Study on the Water-holding Characteristics of Light Matrix for Green Roof

LÜ Hua-fang¹, TANG Li-hua¹, SUN Ting¹, CHEN Jian-gang²

(1. Department of Hydraulic Engineering, State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering,

Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100044, China)

Abstract: Green roofs have been widely used in major cities all over the world for their function of reducing flood, regulating local climate and cleaning up environment. Instead of natural soil, light matrix is usually used as planting layer on green roofs. At present, there is little study on water-holding characteristics of such material. In this paper, combined with a plot of green roof build up on the top floor of an office building in a university in Beijing, some experiments on the water-holding characteristics of matrix were carried out. Some other characteristics of water content were also tested and verified by the experiments and data on green roof were automatically observed. According to the experimental results, it was obtained that the material used in the green roof is much lighter than natural soil, but with great water-holding capacity. The research results can provide basic references for deeply analyzing water and heat energy, as well as application and promotion of green roofs.

Key words: green roof; light matrix; experiments of water-holding capacity; soil water characteristic curve

绿化屋顶具有减缓雨洪、调节局部气候、净化环境等功能, 19 世纪末在德国首次出现。近几十年来, 一些发达国家对绿化屋顶进行了较深入的研究, 形成了一整套相对完善的技术, 并取得良好的经济和环境改善效果。我国绿化屋顶研究起始于 20 世纪 60 年代, 随着城市化建设进程的不断发展, 在我国各大城市也得到了快速推广^[1-3]。

绿化屋顶的结构一般从混凝土楼板向上分别为隔水层、蓄排水层、过滤层、基质层和植被层。其中隔水层的作用是防止屋顶漏水。蓄排水层的作用是增加排水通透能力, 为植物生长提供必需的氧气, 同时

具有一定的蓄滞能力, 防止水分过量排放。过滤层的作用是防止杂质堵塞蓄排水层。植被层由各类适宜于屋顶种植的植物构成, 是绿化屋顶生态、经济、社会效益等的体现层。基质层则是提供植物生长、涵养水分的主要环境。为使植物生长良好, 同时尽量减轻屋顶的附加荷重, 种植层基质一般不直接用天然土壤, 而是选用含各种植物生长所需元素并且容重较小的人工轻量无机基质, 如蛭石、珍珠岩、泥炭及其与轻质土的混合物等。因此其持水性能与普通的天然土壤有所不同。

对轻量基质持水性能的正确认识和理解, 是研究

绿化屋顶水热传输规律及定量化效益分析的基础,但目前有关研究成果尚不多见。为研究典型绿化屋顶的水分持蓄效果,在北京市某大学办公楼的楼顶平台,建立了 100 m² 左右的绿化屋顶示范区,设置了气象观测站及水分、温度等自动观测系统。示范区种植基质层采用北京格林赛瑞斯环境设计有限责任公司提供的 IN-SOLMED 超轻量无机基质,本文对该轻量基质的持水特性进行有关试验,对试验结果进行分析,得到表征其持水性能的相关参数,并用示范区的气象和水分观测数据进行验证。

1 基质持水试验及结果

直观上 IN-SOLMED 超轻量无机基质性状类似于砂土,且相关研究表明,土壤的容重对其水分蓄持能力会有一定的影响^[17]。因此,分别进行示范区原状基质、人工压实基质、天然砂土 3 种介质的室内对比试验。

1.1 基本物理参数测定

(1) 试验工具。容积为 100 cm³ 的环刀、烘箱、天平、铝盒等。

(2) 试验取样

示范区原状基质:在示范区的不同方位用环刀分别取样,以保证测量结果的代表性。

人工压实基质:在大容器中将未曾使用过的出厂基质材料人工均匀压实,再用环刀取样。

天然砂土:用环刀取自然容重下的砂土。

(3) 试验方法。将环刀中的试验样品放入铝盒中,利用烘干法测定干容重 (g/cm³);在环刀的两端分别垫上滤纸,盖上底盖(带孔的盖子,孔径约为 1 mm)和顶盖,浸泡水中,使液面较环刀上缘低 1~2 mm;饱和 24 h 后,测定饱和体积含水率 (%)。试验结果如表 1 所示。

表 1 基本物理参数

质地	体积含水率/ %	容重/(g·cm ⁻³)
天然砂土	29.8	1.68
压实基质	63.8	0.20
原状基质	56.1	0.11

1.2 水分特征曲线测定

采用 Hitach 高速离心机进行了天然砂土、人工压实基质和示范区原状基质的水分特征曲线测定,试验结果如图 1 所示。

为了得到持水特性相关参数,分别对示范区原状基质、人工压实基质和砂土的实测水分特征曲线进行 Van Genuchten 模型(简称 VG 模型)拟合。VG 模型表述为:

$$\theta = \frac{\theta - \theta_r}{[1 + (ah)^n]^{1/m}} + \theta_r \quad (m = 1 - \frac{1}{n}, 0 < m < 1) \quad (1)$$

式中:θ——体积含水率(%);h——负压(0.098 kPa);θ_s——饱和体积含水率;θ_r——残留体积含水率即凋萎系数;a, n, m——表示土壤水分特征曲线形状的参数^[18]。

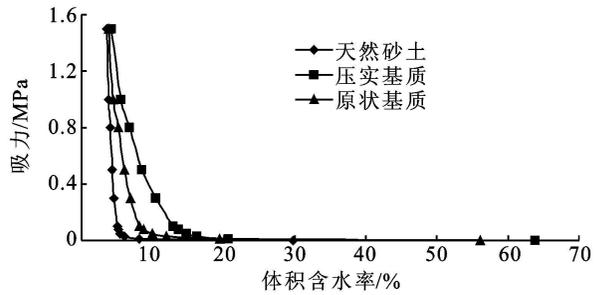


图 1 水分特征曲线

拟合结果比较理想,相关度均在 0.99 以上。并进一步计算得到持水特性相关参数如表 2 所示。表 3 列出了几种典型土壤的持水特性参数,以进行比较分析。

表 2 持水特性参数

质地	a	n	凋萎系数/ %	田间持水量/ %	有效含水率/ %
天然砂土	0.1158	1.7117	3.9	5.9	2.0
压实基质	0.2242	1.3508	2.6	16.4	13.8
原状基质	0.0789	1.5691	3.7	12.2	8.5

表 3 各类土壤持水特性参数^[20]

质地	凋萎系数/ %	田间持水量/ %	有效含水率/ %
松砂土	4.5	1.8	2.7
砂壤土	12.0	6.6	5.4
中壤土	20.7	7.8	12.9
重壤土	22.0	11.5	10.5
轻黏土	23.8	17.4	6.4

2 试验结果分析

根据以上持水试验的结果,进一步分析绿化屋顶示范区采用的人工轻量基质的持水特性及其与天然土壤的区别,可以得到以下结论:

该基质与天然砂土的水分特征曲线分布趋势相近,其干容重(0.11 g/cm³)只是砂土干容重(1.68 g/cm³)的 1/15;参照其他各类典型土壤的水分特性(见表 3),该基质的有效含水率(8.5%)高于砂土(2.0%)和砂壤土(5.4%),与壤土相当。

一般认为,土壤容重越小,土壤的滞留贮水量、吸持贮水量和饱和贮水量越大^[17]。然而试验结果表明,人工压实基质的干容重(0.20 g/cm³)大于原状基质的干容重(0.11 g/cm³),而人工压实基质的饱和体积含水率(63.8%)与有效含水率(13.8%)均大于原状基质的饱和体积含水率(56.1%)与有效含水率(8.5%)。该基质呈现出与普通土壤不同的持水特性,其原因可能是,天然土壤是散粒体结构,颗粒由各

种矿物质组成,颗粒本身几乎没有孔隙,是由不同级配颗粒之间的空隙形成孔隙。基质颗粒和天然土壤颗粒不同,基质颗粒本身有孔隙,基质压实使得单位体积内,增加的基质自身孔隙量大于基质间孔隙的减少量,总体孔隙量增大,因而饱和体积含水率增大。同时,基质颗粒比较均匀和松散,颗粒间的孔隙较大,毛细作用微弱,压实后,由于基质颗粒间孔隙减小,毛细作用增强,从而使得基质持水效果增强。关于此推断还有待进一步的研究和验证。

3 试验结果的验证

示范区的自动观测数据中,降雨量与蒸发强度对基质含水率的影响是基质持水特性的直观表现。取降雨相对频繁、蒸发强度较高的 2010-07-22 至 2010-08-22 之间的观测数据,得到基质含水率的变化过程与降雨量的关系如图 2 所示。

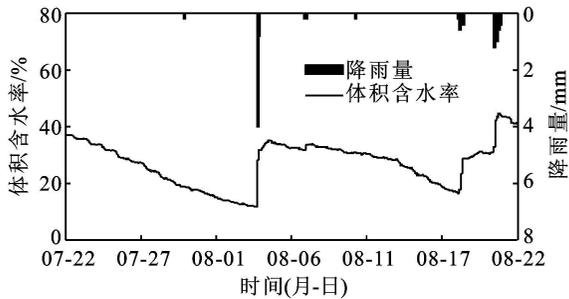


图 2 基质体积含水率与降雨量关系

在 7 月 22 日到 8 月 3 日共 13 d 时间内,累积降雨量 0.2 mm 基本可以忽略,认为该时段无降雨。而由于气温高,蒸发强,基质含水率持续下降,至最低点含水率为 11.6%,远高于试验中得到的凋萎系数 3.7%,说明基质的持水性很好,可以在降雨量较小的情况下,满足植物的生长需要。在 8 月 4 日降雨的影响下,基质含水率快速上升。雨停后,基质含水率呈现缓慢下降。之后在 8 月 18 日至 8 月 22 日的 5 d 时间内,发生两场降雨,总降雨量达 44.6 mm,基质含水率达到高值 44.7%,可以认为接近饱和。由于天然条件下,基质很难达到完全饱和,所以示范区测得的最大体积含水率小于室内试验得到的饱和体积含水率 56.1%,符合一般规律。

4 结论

本文对绿化屋顶示范区采用的轻量基质进行了室内持水性能试验研究。结果表明:该基质具有容重小、持水率高的特点,既可以起到很好的水分持蓄作用,又不会对屋顶承重造成大的影响,非常适合作为绿化屋顶的种植层。

研究中还发现,该轻量基质的容重与含水率之间的关系和一般土壤不同。该基质压实后,干容重增加,饱和体积含水率也增大,持水性能相应提高。本文有关此特性机理的分析推断需进一步研究验证。此外,该轻量基质的导水特性,也是反映绿化屋顶水分持蓄效果的重要参数,有待于进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 徐振华,刘俊,尹新彦.我国屋顶绿化研究概述[J].林业科技开发,2010,24(4):10-13.
- [2] 高铭鸿,邓生文.屋顶绿化的效益[J].四川建筑,2010,30(4):104-105.
- [3] 陈景升,何友均.国外屋顶绿化现状与基本经验[J].中国城市林业,2008,6(1):74-76.
- [4] 丁鹏.我国屋顶绿化的发展趋势探析[J].现代农业科技,2008(17):96.
- [5] 郭运青,唐树梅,许先升,等.论屋顶绿化在中国的推广与普及[J].热带农业科学,2008,28(3):55-59.
- [6] 魏艳,赵慧恩.我国屋顶绿化建设的发展研究:以德国、北京为例对比分析[J].林业科学,2007(4):95-101.
- [7] 许萍,车伍,李俊奇.屋顶绿化改善城市环境效果分析[J].环境保护,2004(7):41-44.
- [8] 李谦盛.屋顶绿化栽培基质的选择[J].安徽农业科学,2005,33(1):84-85.
- [9] 殷丽峰,李树华.清华大学超低能耗示范楼绿化屋面的温度分布特征[J].林业科学,2007,43(8):143-147.
- [10] 赵定国,薛伟成.轻型屋顶绿化的降温效果[J].上海农业学报,2006,22(1):53-55.
- [11] 叶建军.屋顶绿化对城市水环境的改善[J].水土保持研究,2007,14(2):186-188.
- [12] 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1988.
- [13] 叶海英,赵廷宁,赵雪峰.半干旱黄土丘陵沟壑区几种不同人工水土保持林枯落物储量及持水特性研究[J].水土保持研究,2009,16(1):121-125.
- [14] 刘尧让,于法展,李淑芬,等.苏北山丘区森林群落次生演替中土壤物理性质及其持水性能研究[J].水土保持研究,2010,17(3):135-139.
- [15] 周萍,刘国彬,文安邦,等.黄土丘陵区不同林龄乔灌木林地土壤水分及持水性能研究[J].水土保持研究,2010,17(1):188-193.
- [16] 潘宗俊,刘庆成.基于离心机法研究变重度压实黄土土-水特征曲线[J].公路,2009(8):270-273.
- [17] 李卓,吴普特,冯浩,等.容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J].土壤学报,2010,47(4):611-620.
- [18] 彭建平,邵爱军.用 MatLab 确定土壤水分特征曲线参数[J].土壤,2007,39(3):433-438.
- [19] 肖建英,李永涛,王丽.利用 Van Genuchten 模型拟合土壤水分特征曲线[J].地下水,2007,29(5):46-47.
- [20] 土壤水分常数及土壤有效含水范围[EB/OL].林学苑网:<http://www.gxforestry.net/show.asp?id=2370>.