

模拟降雨条件下不同下垫面滞水能力初探

李 博,杨 凯,赵 军,刘兰岚

(华东师范大学资源与环境科学学院,上海 200062)

摘要 适当优化土地利用方式,在一定程度上可作为城市排水的一个辅助条件,缓解城市暴雨积水问题。通过实验室模拟降雨,初步得出结论:在相同降雨强度的情况下,绿地相对于裸土而言具有较大滞水量。中小雨强情况下更为显著,两者滞水量相差 20 ~ 25 mL/min。分析降雨因素对整个过程的影响,初步获得不同下垫面的滞水能力差异,在一定程度上验证土地利用方式对降雨径流产生的调蓄效应,可为未来区域土地利用规划、生态城市建设规划等提供参考。

关键词 绿地;裸土;滞水量;降雨强度

中图分类号 TP334

文献标识码 A

文章编号 :1004-6933(2009)01-0018-03

Water retention capacity of different underlying surfaces under simulated rainfall conditions

LI Bo, YANG Kai, ZHAO Jun, LIU Lan-lan

(School of Resources and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract Suitable land use is useful for urban drainage and storage of excessive rainfall. A laboratory simulated rain experiment shows that the water retention capacity of green land is higher than that of bare soil with the same rainfall intensity, especially with a low rainfall intensity of 20 ~ 25 mL/min. The difference in the water retention capacity of different underlying surfaces indicates that land use can adjust and store rainfall runoff, and provides a reference for future land use planning and ecological city construction planning.

Key words green land; bare soil; water retention capacity; rainfall intensity

随着城市化进程的不断加快,区域土地利用方式和强度发生剧烈变化,使得城市洪水发生的概率远远超出正常情况^[1]。首先城市化会影响降雨,造成城市雨岛效应^[2-4],这将为城市雨洪的形成提供一个前提条件。其次城市化会增加不透水下垫面比例,影响降雨在时间和空间上的再分配^[5],导致径流系数过高,对城市排水系统产生较大负荷,甚至造成路面大量积水、无法及时补充地下水等问题。

优化城市土地利用的方式,并以此作为城市生态排水的辅助条件之一,对减缓直排的压力具有重要意义。研究表明^[6-7],城市绿地具有保持水土、减少地表径流的功能,在一定程度上有效减缓城市洪涝灾害的发生。德国利用城市绿地在雨洪的滞蓄、入参与回灌方面取得了一定的研究成果^[8]。

Ferguson^[9]和汪慧贞等^[10]对一些城市雨水渗透设施进行了工程方面的研究。本文选取城市主要的透水下垫面——绿地为研究对象,选取较为常见的草皮绿地和裸土作为下垫面,定量分析探讨不同降雨情况下的滞水能力及两者差异,以期对未来土地利用规划提供参考。

1 试验内容及方法

1.1 试验方法

采用华东师范大学地理学系的降雨模拟装置(图 1)。装置尺寸 70 cm × 50 cm × 40 cm,装置上方设有淋蓬头,中间放置一带有均匀孔径的铁盒作为雨水的均匀分布器,装置底部有渗水孔,装置下方有出水收集装置。首先,将土样按野外土壤结构分层

填满整个装置,将装置分成 2 块,在其中 1 块样方上种植草本植物,形成绿地。待整个装置的土壤和草皮情况稳定基本恢复到野外条件时,于 2005 年 3 月至 2006 年 6 月间,通过设置不同下垫面、降雨强度以及降雨历时等条件,进行多次重复模拟降雨试验。

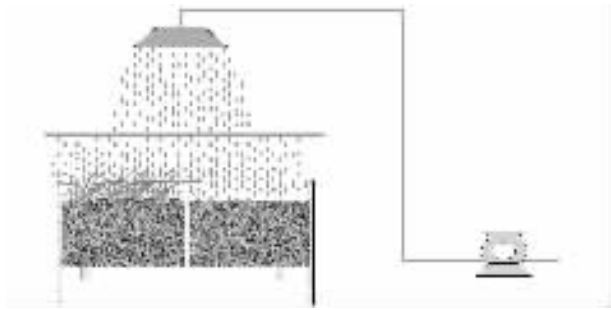


图 1 试验装置

1.2 试验条件

实验土壤取自华东师范大学校园内,属上海地区典型土壤类型。土壤类型为轻壤土,颜色为暗黄棕,容重为 0.93 g/cm³, pH 值为 7.41, 粒径约为 0.022 2 mm,总孔隙度约为 60%,土层厚 40 cm。

a. 下垫面:一块是裸土,另一块是植被类型为草皮的绿地,草皮品种为比较常见的结缕草。达到稳定时两样块的土壤含水量基本相同,约为 24%。

b. 试验时间:每次试验前均需测定土壤指标,基本达到相同条件,以保持一致,试验的间隔时间也由此确定。

c. 平行试验:对于每种雨强,均进行 5 次平行试验,取平均值,以排除试验的人为误差,以说明结果的规律性。

d. 采样时间:滞水量采取从降雨开始每分钟读数 1 次,直至实验结束。

e. 降雨强度:根据上海市暴雨强度公式模拟上海地区较常见的降雨强度,暴雨重现期分别设定为 1 a,3 a 和 5 a,降雨历时为 60 min(表 1)。上海地区暴雨强度计算公式:

$$i = \frac{17.812 + 14.688 \lg T}{(t + 10.472)^{0.796}}$$

式中: T 为非最大值法选样的重现期; t 为降雨历时。

表 1 降雨强度、降雨量与重现期的关系

暴雨重现期/a	降雨强度/(mm·min ⁻¹)	降雨量/(mL·min ⁻¹)
1	0.602	211
3	0.839	294
5	0.949	333

2 试验结果及分析

2.1 不同降雨强度试验比较

2.1.1 绿地

图 2 表明,在不同降雨强度下,绿地的滞水能力

是不同的。从量上来看,降雨初期,降雨强度越大,绿地滞水量也较大。降雨末期,呈现出 5 年一遇的滞水量较小,大约为 10 mL/min,而 3 年一遇的滞水量相对较大,约为 50 mL/min,1 年一遇的情况居中,约为 30 mL/min。

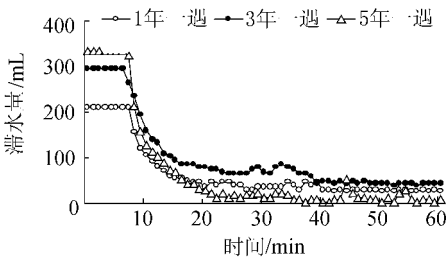


图 2 不同降雨强度的绿地滞水量

从时间上看,随着降雨历时的延长,绿地滞水量是一个逐渐递减并趋于稳定的过程。在降雨强度较大的情况下,绿地很快就会达到饱和,5 年一遇的约为 20 min 左右。达到稳定时间的顺序依次是:5 年一遇<3 年一遇<1 年一遇。

出现以上结果的主要原因是在降雨强度较大的情况下,降雨量相对较大,造成初期绿地土壤中的滞水量较大。但随着时间的推移,土壤孔隙逐渐被雨水填满,土壤很快从渗润到达渗透,滞水量逐渐减小并最终基本达到一个稳定状态。由于雨强较大,土壤基本已经达到通透状态,促使雨水只能通过重力作用几乎都全部渗透下去,而在雨强较小的情况下,进入绿地的雨水量较少,土壤并不一定完全通透,故最终渗透出水量 1 年一遇的比 5 年一遇的略小。3 年一遇的降雨强度居中,饱和后土壤的通透程度不如 5 年一遇的情况,因此部分雨水能有效地储存在绿地中,故滞水量较大。至于 3 种情况下土壤达到饱和的时间,主要可能是由于单位时间的降雨量造成,雨强越小降雨量就越小,达到饱和的时间较长。

2.1.2 裸土

图 3 表明,在不同降雨强度下,裸土的滞水能力也是不同的。从量上来看,降雨初期降雨强度越大,滞水量也较大。降雨临末期,3 种降雨强度情况下的滞水量几乎相等,约为 20 mL/min,比绿地少。

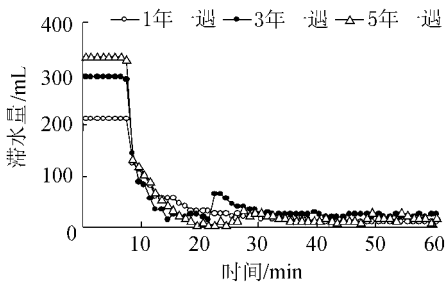


图 3 不同降雨强度的裸土滞水量

从时间上看,随着降雨历时的延长,裸土滞水量也是一个逐渐递减并趋于稳定的过程。3 种情况下达到稳定的时间也几乎相同,约为 30 min。

裸土的滞水量与降雨时间关系曲线与绿地有一定的差异,主要表现在 3 种雨强情况下,无论是水量还是达到稳定的时间最终都几乎趋于一致。这可能是由于裸土上方缺少了植被覆盖,其滞水量只取决于土壤本身。并且在不同雨强情况下,其滞水能力大部分均比绿地小。同时,在试验中还观察到在雨强较大时,裸土表面的土壤出现了“结皮”现象,导致部分雨水来不及下渗而形成水塘或从装置上方溢流出来。

2.2 不同下垫面试验比较

2.2.1 相同降雨强度下不同下垫面的比较

由图 4 可知,在 1 年一遇的降雨强度下,降雨初期绿地和裸土的滞水量基本一致,但随降雨的进行,在 10 min 左右时,裸土的滞水量递减速率大于绿地,并且裸土土壤比绿地提前达到饱和。降雨结束时,裸土的滞水量始终小于绿地,相差约 20 mL/min。在 3 年一遇的降雨强度下,试验结果与一年一遇的结果相似,在 7 min 左右时,裸土的滞水量递减速率超过绿地,且提前达到饱和。降雨结束时,两者滞水量相差约 25 mL/min。在 5 年一遇的降雨强度下,试验结果与前两次相似,在 8~20 min 之间裸土的滞水量

递减较快,20 min 后一直到降雨结束,裸土于绿地的滞水量曲线基本重合,差别不大。

在中小雨强情况下,绿地的滞水量始终大于裸土,这可能是由于植物影响所致。植物对雨水具有截流作用,延迟了雨水入渗时间,同时加大了入渗量。也有相关研究表明,由于林冠层对雨水的截持和缓冲,减少了进入林地的水量,减少了降雨的动能和势能,从而起到了削弱洪峰流量,防止土壤侵蚀和涵养水源的生态功能^[11]。此外,植物的根系还与土壤有机紧密地结合在一起,也会在一定程度上改善土壤质地,增加土壤孔隙度,促进雨水入渗,而裸土则只能依靠其土壤自身的特性,吸收并向上传输水分,滞水量相对较小。同时,裸土在降雨过程中由于雨滴的撞击,很容易“结皮”,在一定程度上抑制了雨水入渗,从而形成积水塘,最终产生雨水径流从装置上方溢流出来。

2.2.2 绿地与裸土渗出水量与滞水量的比较

从图 5 中可以看出,在相同降雨强度情况下,绿地的总滞水量百分比均高于裸土,1 年、3 年和 5 年一遇的雨强条件下分别高出 7.0%、12.0% 和 1.7%。这就证明了绿地相对于裸土而言对雨水具有较高的滞水能力。同时,在绿地的试验结果中可以很明显地看出在中等或较小的降雨强度下,绿地的滞水能力体现得比较突出,滞水量百分比分别达到 34.8% 和 31.8%。这对于出现频率较多中小雨强来说,绿地能发挥较强的调蓄作用,在一定程度上能减少城市雨水径流量,从而减缓城市洪涝灾害发生的几率。

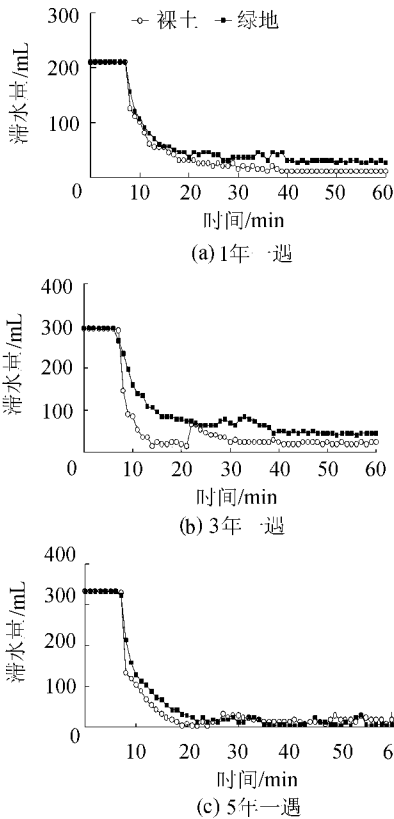


图 4 滞水量与时间关系

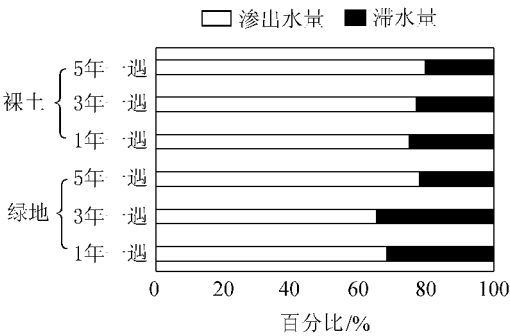


图 5 绿地和裸土渗出水量和滞水量百分比

3 结 论

a. 实验降雨条件下模拟研究初步表明,不同降雨强度对绿地滞水量有一定影响,但对裸土滞水量影响不显著。降雨强度越大,绿地滞水量越小,达到饱和时间越短。中小雨强情况下,绿地滞水量为 30~50 mL/min,达到饱和的时间为 20 min 左右。

(下转第 24 页)

中降水量、流量和蒸发量对于干旱的影响程度较其他因素更明显,因此主要考虑这 3 个因素。建立淮河流域旱情评价综合指标函数: $D = 0.38D_1 + 0.34D_2 - 0.28D_3$,该函数综合考虑了研究地区的降雨量、径流量和蒸发量 3 个影响因素,适用于淮河流域的旱情评价,并且具有南方地区的普遍性,可根据相似性进行拓展。根据综合指标函数的计算值可对旱情进行分级: $D \leq 0.1790$,界定为大旱; D 值介于 0.1790 和 0.4138 之间的为小旱,而 $D \geq 0.4138$ 的判断为不发生干旱的年份。

b. 计算出的旱情符合度为 60.8%,与实际相比还有一定的误差,这一方面与计算方法有关,另一方面是由于符合度中小旱与不干旱的界限较模糊,造成小旱中有较多的不符合,可能两者之间没有绝对的临界值,这有待进一步的研究。

c. 干旱是一个很复杂的灾害,它不像洪水灾害已经研究得很透彻了,而且水文、气象部门的资料需要相互补充才能更全面地研究旱情指标。本文从水文资料入手,对综合指标做一些有益的探索,得到了以上的结论。由于一方面对于历史旱情具体损失的评价还需要进一步考证,对各因子的权重系数的确定可以进一步进行多角度的研究;另一方面还要研

究旱情评价与监测的关系,以更好地为应对干旱提供技术支持。

参考文献：

[1] 李克江,郭其蕴,张家诚,等.中国干旱灾害研究及减灾对策[M].郑州:河南科学技术出版社,1999:9-26.
[2] 河南省水利厅.河南水旱灾害[M].郑州:黄河水利出版社,1998:189-221.
[3] 赵振国.中国夏季旱涝及环境场[M].北京:气象出版社,2000.
[4] 宋连春,邓振镛,董安祥,等.干旱[M].北京:气象出版社,2003.
[5] 徐向阳.水灾害[M].北京:中国水利水电出版社,2006:93-124.
[6] 包为民.水文预报[M].3版.北京:中国水利水电出版社,2006:256-260.
[7] 赵春明,刘雅鸣,张金良,等.20世纪中国水旱灾害警示录[M].郑州:黄河水利出版社,2002:338-358.
[8] 冯佩芝,李翠金,李小泉,等.中国主要气象灾害分析(1951-1980)[M].北京:气象出版社,1985:135-158.
[9] 夏明方,康沛竹.20世纪中国灾变图史[M].福州:福建教育出版社,2001:53-75.

(收稿日期:2007-05-31 编辑:傅伟群)

(上接第 20 页)

b. 在相同降雨条件下,绿地相对于裸土而言,具有较大滞水量,尤其是在中小雨强情况下,两者滞水量相差 20~25 mL/min。

c. 合理利用城市绿地的调蓄能力,优化土地利用结构,将土地利用方式作为城市生态排水的重要辅助条件之一,在一定程度上可减缓城市排水系统的高强负荷,将有助于改善城市化带来的城市暴雨积水问题。

参考文献：

[1] CAMORANI G, CASTELLARIN A, BRATH A. Effects of land-use changes on the hydrologic response of reclamation systems[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2005, 30: 561-574.
[2] 周丽英,杨凯.上海降水百年变化趋势及其城郊的差异[J].地理学报,2001,7(4):467-476.

[3] 刘秋锋,赵建,康慕谊.济南市城市扩展与城市暴雨洪灾[J].灾害学,2005,12(4):39-42.
[4] 李树平,黄廷林.城市化对城市降雨径流的影响及城市雨洪控制[J].中国市政工程,2002,9(3):35-37.
[5] 石培礼,李文华.森林植被变化对水文过程和径流的影响效应[J].自然资源学报,2001,9(5):481-487.
[6] 张书函,丁跃元,陈建刚.德国的雨水收集利用与调控技术[J].北京水利,2003(3):39-41.
[7] 段舜山,彭少麟,张社尧.绿地植物的环境功能与作用[J].生态科学,1999,6(2):79-81.
[7] 黄尚明.充分发挥城市绿地的环境效益[J].当代建设,2002(2):57.
[9] BRUCE K F. Stormwater Infiltration[M]. New York: Lewis Publishers,1996:36-88.
[10] 汪慧贞,车武,胡家骏.浅议城市雨水渗透[J].给水排水,2001(2):4-7.
[11] 鲍文,何丙辉,包维楷,等.森林植被对降水的截留效应研究[J].水土保持研究,2004,3(1):194-197.

(收稿日期:2007-07-19 编辑:傅伟群)