

# 郑州绿地雨水资源有效利用途径研究

雷雅凯, 彭丹丹, 张淑梅, 杨 晗, 田国行

(河南农业大学 林学院, 郑州 450002)

**摘 要:**城市绿地对雨水的流失有显著的缓解作用,城市绿地的合理规划与建设对雨水资源的有效利用有巨大的影响。以郑州市为研究对象,基于 2011 年 8 月份 TM 影像,分析不同高程区间内郑州市区绿地面积、绿地斑块数量与汇水面面积的相关关系,同时结合气象观测资料,道路、公园、防护绿地分布资料等,对城市绿地对雨水资源有效利用提出合理的途径。结果表明:绿地面积、绿地斑块个数与汇水面均呈极显著正相关。因此,建议郑州市在增加绿地面积的基础上提高绿地斑块数量,在城市绿地设计多目标中实现雨水资源利用多目标,最终达到改善郑州水环境和减轻城市内涝灾害的目的。

**关键词:**郑州市;城市绿地;雨水资源;有效利用

**中图分类号:** TU986

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2015)04-0173-05

## Efficient Utilization Ways of Rainwater Resources in Greenland of Zhengzhou

LEI Yakai, PENG Dandan, ZHANG Shumei, YANG Han, TIAN Guohang

(College of Forestry, He'nan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Urban green space has the significant mitigation on loss of rainwater, rational planning and construction of urban green space has the huge impact on the efficient use of rainwater resources. Taking Zhengzhou City as the research example, based on the TM images of August, 2011, we analyzed satellite images to calculate the elevation range of different green area in Zhengzhou City, the number of green patches and sink surface area of the correlation coefficient, at the same time, and put forward the way on the efficient use of rainwater resources in the urban green space according to the meteorological data, roads, parks, green space protection distribution data, etc. The results showed that the green space area, the number of green patches and the collected water were very significant positive correlation. Therefore, we suggested that on the basis of increase of the green area in Zhengzhou City, number of green patches should be increased, rainwater resources use multi-objective should be realized in urban green space design multi-objective in order to improve the water environment of Zhengzhou and relieve the urban waterlog disaster.

**Keywords:** Zhengzhou; urban green space; rainwater resources; efficient use

近年来,随着城市化进程的加快,城市内道路、广场、房屋等硬质界面大量增加,降雨入渗量减少,雨水汇流时间缩短,自然水循环系统遭到破坏,城市水环境日益恶化。同时,随着城市建设的发展,对水资源的需求日益增多,致使地下水资源开采量不断增加,超过允许开采量,形成大面积的降落漏斗,造成地面沉降地质灾害<sup>[1]</sup>。而水资源时空分布不均和质量的不断恶化,使水资源短缺局面更加严重<sup>[2]</sup>。雨洪问题和水资源匮乏已成为困扰和制约城市发展的重大难题<sup>[3]</sup>。面对日益增加的生活、生产和生态用水需

求,如何为当代社会发展提供足够稳定的淡水资源,成为一个重大而紧迫的议题。

雨水资源利用作为一种最具潜力的开源手段被广泛探索和实践<sup>[4]</sup>。传统灰色雨水基础设施逐渐被绿色雨水基础设施(Green Stormwater Infrastructure, GSI)<sup>[5]</sup>所替代,如生态停车场、绿色廊道、雨水景观公园、雨水控制利用综合模式及专项规划等<sup>[6-7]</sup>,以自然的方式控制城市雨水径流,减少城市洪涝灾害,控制径流污染,保护水资源环境<sup>[8]</sup>。绿色雨水基础设施作为城市雨水系统的重要组成部分,对恢复与构建城市良性

收稿日期:2014-06-03

修回日期:2014-10-07

资助项目:河南农业大学博士科研启动项目(30600407);城市景观生态安全格局与 3S 技术应用研究(096SYJH32108),高速公路高效节约景观构建关键技术研究(2013J49)

第一作者:雷雅凯(1985—),男,河南省平顶山市人,博士,讲师,主要从事城市景观生态。E-mail:lykfjyl@163.com

通信作者:田国行(1964—),男,河南省新乡市人,博士,教授,主要从事城市绿地资源建设与管控。E-mail:tgh-6408@163.com

水循环、保护生态环境起着至关重要的作用<sup>[9]</sup>。国内对雨水资源的有效利用已进行了大量的研究,但多是研究一个居住区、一个景区的雨水资源利用方法,或是利用工程措施将雨水收集再加以利用。在绿地建设中,虽然已经认识到城市绿地的多种功能,但目前多以绿地数量和面积的增加为目的,缺乏对如何提高城市绿地利用雨水资源的效率的综合考虑。因此,在城市绿地规划中如何就近、直接、有效地积蓄雨水、利用雨水资源,是城市园林绿化亟待解决的现实问题<sup>[10]</sup>。

随着城市的发展,郑州市正面临着各种水资源问题,如:(1)节水意识不强,水资源污染浪费现象严重,加剧供需矛盾;(2)地下水资源超采十分严重;(3)径流量利用率不高,大部分直接流走,成为不可利用的水资源等。城市中绿地是一种天然的渗透设施,是雨水下渗的主要渠道。利用绿地进行雨水渗透,不仅满足绿地自身的生态需水,补给地下水;而且植物根系能对雨水径流中的杂质、悬浮物等起到一定的净化作用<sup>[11]</sup>。研究城市绿地与雨水资源的综合利用,对于指导城市绿地规划和雨水资源有效利用具有十分重要的意义。本文以郑州市为研究对象,基于 2011 年 8 月份 TM 影像,分析不同高程区间内绿地分布与汇水面面积的关系,以及城市绿地对雨水利用的现状,分类讨论并提出可改造的利用雨水资源的途径,以期来提高绿地对雨水利用的综合效益,最终形成区域水系的健全水循环,改善城市水环境,缓解城市水资源紧张的局面,实现城市可持续发展的目的。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

郑州市是河南省省会,地处河南省中部偏北,东经  $112^{\circ}42'$ — $114^{\circ}14'$ ,北纬  $34^{\circ}16'$ — $34^{\circ}58'$ ,北临黄河,西依嵩山,东南为广阔的黄淮平原,地处中原腹地。暖温带半干旱大陆性气候,郑州市年降雨量 629.2 mm,7—9 月为雨季,干湿季节分明,雨季雨量占全年雨量的 60% 左右。降雨集中、强度大、历时短,且多属暴雨,具有很好的集中贮存的价值,此特点表明郑州市的雨水资源利用具有较大的潜力,且很有必要性<sup>[12]</sup>。

截至 2010 年年底,郑州市建成区绿化覆盖面积 11 590  $\text{hm}^2$ ,绿地面积 10 096  $\text{hm}^2$ ,公园绿地面积 2 970  $\text{hm}^2$ ,绿化覆盖率 36%、绿地率 31.3%,人均公园绿地面积 9.9  $\text{m}^2$ <sup>[13]</sup>。可见,城市绿地拦蓄雨水及其绿地雨水径流面积大,绿地雨水利用潜力巨大。本研究以郑州市区为主要研究范围,主要包括郑州市所辖的金水区、二七区、中原区、管城区、郑东新区、高新区和经开区。

### 1.2 研究方法

采用 2011 年 8 月的 Landsat-TM 影像(图像轨道编号为:124/36),所选图像成像时天气晴好,研究区无云覆盖,影像成像质量较好。对遥感影像进行大气辐射校正、几何校正、图像裁切等前期处理,然后利用 ArcGIS 软件对卫星影像图进行分析,提取出郑州市不同类型绿地的绿地面积、汇水面面积等信息,结合郑州市地形图及其它相关的属性资料,分析郑州市城市绿地对雨水资源利用和调控的现状,为郑州市城市绿地的规划和雨水资源有效利用提供新的思路。

## 2 研究结果与解决途径

### 2.1 郑州市绿地结构分析

由图 1 可以看出,郑州市绿地系统主要由公园绿地、生产绿地、道路绿地、防护绿地、附属绿地等构成。公园绿地多位于郑东新区相对集中的新建成的绿地公园系统及旧城区相对分散的几大公园(紫荆山公园、碧沙岗公园、人民公园等),高程在 285~417 m 区间,大多数呈片状分布,绿地面积大,相应的汇水面面积大,是城市绿地雨水资源利用的潜力区;生产绿地多位于郑州市北部高程较低的区域,多是为城市绿化提供苗木、花草、种子的苗圃、花圃、草圃等,绿地斑块面积大,可以很好的利用雨水资源;道路绿地、防护绿地多位于郑州市道路两侧,是建立的以植物为主体的线状或带状景观,具有卫生、隔离和安全防护功能,斑块密度小,各个高程区间均匀分布;附属绿地斑块小而分散,但景观面积仅次于公园绿地,在绿地雨水资源利用中同样发挥很大作用。郑州市围绕城市总体规划构成的以“以绿环围绕、绿线穿插、绿点均布”为布局特色的绿地结构,已成为一个点带网状的绿地系统,如果将雨水资源的利用与此环网相结合,在一定程度上使城市绿地起到生态雨水管网的作用,将便于雨水径流的收集和处理。

### 2.2 郑州市绿地与汇水面分布分析

2.2.1 绿地面积与汇水面的关系 将 196~638 m 的高程区间进行十等分,分别统计每个高程区间的城市绿地面积、汇水面面积值,结果表明,在 285~329 m 高程区间内,绿地面积最大,相应的汇水面面积也达到最大值(图 2)。将统计出的绿地面积由小到大进行排列,通过一元线性回归分析得出绿地面积与汇水面面积之间的关系,由此可判断绿地面积对汇水面的影响(图 3)。同时,通过 SPSS 软件对绿地面积与汇水面的相关性分析也得出,绿地面积与汇水面面积的相关系数为 0.928,呈极显著正相关;即当区域中绿地面积较小时,其服务的汇水面相应就越小,当区

域中绿地面积较大时,汇水面相应越大,扩大城市绿地面积对雨水资源收集和利用是很好的途径。在同等面积下如何提高绿地对雨水的利用效率,在合适的位置或条件下建成提高雨水资源利用的调蓄设施,从而实现充分利用雨水资源、控制水涝、改善环境等多重目的,是我们眼下需要克服的障碍。

2.2.2 绿地斑块数量与汇水面的关系 同样将 196~638 m 的高程进行十等分,统计每个高程区间的城市绿地斑块数量、汇水面面积值(图 2,5),再将统计出的绿地斑块数量由少到多进行排列,通过一元线性回归来分析绿地斑块数量对汇水面的影响,是一种正

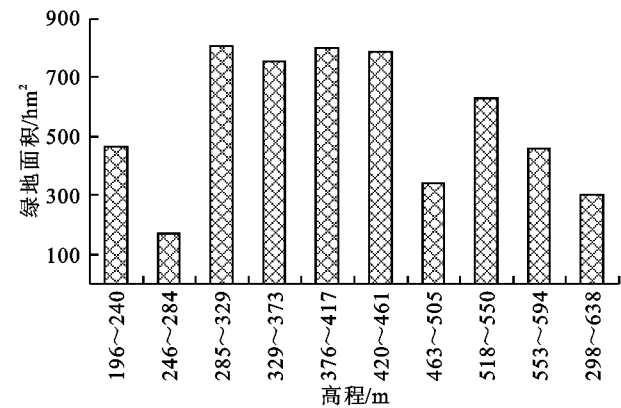


图 2 高程与绿地面积、汇水面面积的关系

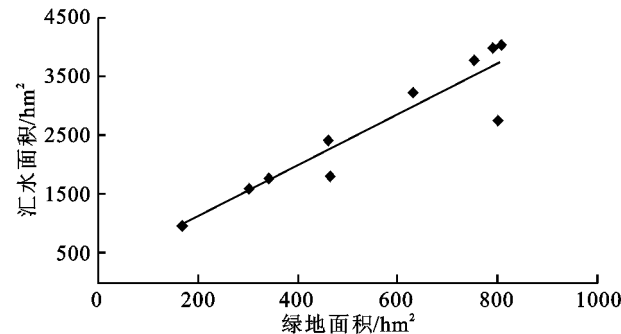


图 3 绿地面积与汇水面的关系

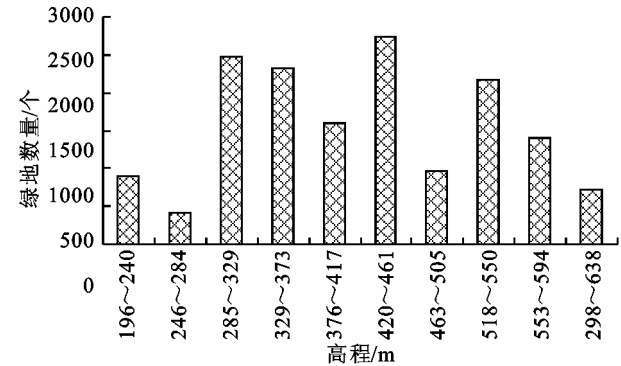


图 4 高程与绿地斑块数量

同时,通过 SPSS 软件对绿地斑块数量与汇水面的相关性分析也得出,绿地斑块数量与汇水面面积的相关系数为 0.991,呈极显著正相关,即当区域中绿地斑块较少时,其服务的汇水面就越小,当区域中绿

相关关系(图 5)。



图 1 郑州市区汇水面上绿地分布

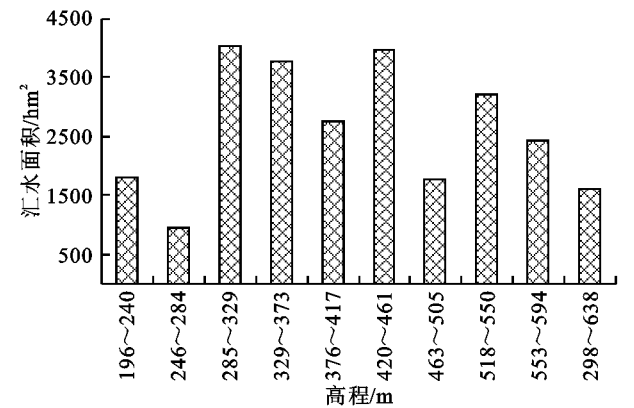


图 5 绿地斑块数量与汇水面的关系

地斑块较多时,其服务的汇水面相应越大。在城市绿地规划建设中,可将适宜建设绿地的屋顶全部设计成绿色屋顶并完成建造,增加绿地斑块数量,利用屋顶绿地的滞蓄作用滞蓄雨水。

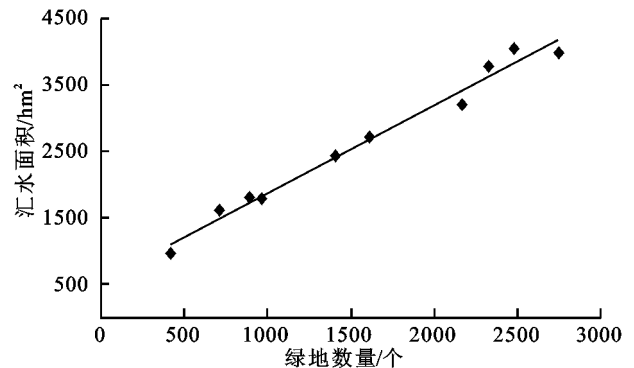


图 5 绿地斑块数量与汇水面的关系

### 2.3 不同绿地类型在雨水资源利用中的应用研究

2.3.1 下凹式绿地分流和集蓄雨水 下凹式绿地的结构为:城市硬化地面(包括渗透地面)的设计高程高于绿地高程 150~300 mm,雨水口设置于下凹绿地中,且雨水口高程高于绿地高程 50~100 mm,并低于硬化地面高程。这样一种设置,可以使雨后的雨水径流先汇入绿地,通过蓄积渗透后,多余的雨水径流再从雨水口流走,进而由雨水管道排出。既能灌溉绿地植被,节约大量绿化用水,又能提高地下水位,减

少清洁工作量。很多研究也证明,在城市绿地规划中,建设下凹式绿地,使绿地地面标高低于其周边的道路和场地,在条件允许的情况下,适当加大这一部分的高差,可增加绿地可汇集的雨水量<sup>[14]</sup>和降低绿地本身的径流系数,达到滞蓄汛雨作用<sup>[15]</sup>。

由图3可以看出,在郑州市各高程区域内,绿地面积与汇水面积是一种显著正相关关系,同时分析在郑州市道路绿地中采用下凹式绿地的集水效果,降雨量采用郑州市水务局官网给出的数据,根据当地气候特点及气象要素资料,采用高桥浩一郎经验公式对蒸发量进行计算<sup>[16]</sup>,另外基础资料根据世界银行气象数据和郑州市年鉴统计,其中丰水年降雨量平均值为727.3 mm,平水年平均降雨量为629.2 mm,枯水年平均降雨量为498.4 mm。统计的道路绿地面积为112 358 m<sup>2</sup>,占城市绿地总面积的2%。根据初损后损法<sup>[17]</sup>的计算模型和文献资料,假设绿地下凹深为150 mm,则在这种情况下,平均每年将有168 300 m<sup>2</sup>雨水转变为土壤水,1 056 000 m<sup>3</sup>补给地下水,外溢水量只有29 700 m<sup>3</sup>。这将大大补充郑州市区的地下水源,对因过度开采地下水而引起的地面沉降现象也起到一定的缓和作用。因此,可根据郑州市实际情况,适当在各高程绿地区域中设计和建设短时蓄水的下凹式绿地来集蓄雨水,并使这些下凹式绿地与城市排水管网相连,形成区域生态雨水蓄排系统,来提高郑州市对雨水利用的效率。

**2.3.2 绿色屋顶进行雨水资源的利用** 屋顶在城市不透水下垫面中占有50%以上的比例<sup>[18]</sup>,且屋顶雨水集蓄是雨水收集的主要手段。在增加绿地总面积的基础上,尽可能的增加绿地斑块的数量可以更有效地利用雨水资源。屋顶绿化恰好满足多体块、分散的特点,因此可以考虑增加郑州市屋顶绿化的面积。

屋顶绿化的关键问题是植物和种植土壤的选择,要根据本地气候和自然条件,筛选本土耐旱植物,并与土壤类型、厚度相适应,对植物品种进行合理的搭配。对郑州市建造时间长、承重能力差的屋顶,以地被、草坪或其他低矮花灌木为主进行绿化,土层厚度为5~20 cm;承重能力和防渗能力相对较差的屋顶,种植草坪和灌木,土层厚度为15~25 cm;承重能力很好,且在建筑设计时已考虑到屋顶绿化的,尽量种植乔灌木,构筑花台、花坛等。对具有较大屋顶面积的公共建筑,如学校建筑、办公建筑、商业建筑,作为种植屋面,形成规模。通过对建筑屋顶的改造设计,改变郑州市原有屋顶雨水径流的流向,从而减少地表雨水径流。

**2.3.3 生物滞留沟进行雨水资源的利用** 生物滞留沟是种对水质水量的截流并暂时存储的结构型雨水控制,它利用浅水洼或景观区中的土壤和植被来去除雨水径流中的污染物。公园绿地以乔灌木、花卉、草地为主,兼以人工景观,是人们休闲娱乐、进行户外运动和科普教育的场所;防护绿地在城市中本就具有卫生、隔离和安全防护功能,两者具有相对较大的绿地面积,最适合改造和建设生物滞留沟。郑州市已有公园绿地2 970 hm<sup>2</sup>,防护绿地188.3 hm<sup>2</sup>,共占全部绿地的43.5%。利用生物滞留沟蓄存雨水,晴天时滞留的雨水经过蒸发,产生较强的上升气流,增加郑州市空气流动性,调节区域气候,同时,下渗的雨水还会增加郑州市的地下水水位,增加土壤中的含水量,减少绿地灌溉量。

**2.3.4 雨水花园进行雨水资源的利用** 雨水花园是自然形成的或人工挖掘的浅凹绿地,被用于汇聚并吸收来自屋顶或地面的雨水,是一种生态可持续的雨洪控制与雨水利用设施<sup>[19]</sup>,能够有效地去除径流中的悬浮颗粒、有机污染物以及重金属离子、病原体等有害物质<sup>[20]</sup>。近年来,特别是在许多发达国家,雨水花园被广泛用于雨水控制与径流污染控制,是一种很重要的绿色水基础设施<sup>[21]</sup>。雨水花园对较小雨量最有效,可以短期迅速吸收雨水。同时,雨水花园不仅将收集的雨水作为一种景观要素整合进景观中,最大化提升视觉感和游憩价值;而且对补充地下水、减小洪峰量、降低雨水径流量等方面也有很大作用。

雨水花园是以其土壤与植物的共同作用来处理雨水的,所以雨水花园植物的选择很重要。根据郑州市气候与土壤特点,郑州市雨水花园建议植物,乔木:白蜡、旱柳、枫杨等;灌木:山茱萸、齿叶莢蒾、木槿等;草本:千屈菜、大花萱草、景天、狐尾草、玉带草、落新妇、蛇鞭菊、鸢尾等。

### 3 结论

(1) 随着高程的增加,汇水面面积呈现先增后减的趋势,且在285~329 m高程区间内,绿地面积最大,相应的汇水面面积也达到最大值。

(2) 郑州市不同高程区间内的绿地面积、绿地斑块数量与汇水面面积呈极显著正相关关系。

(3) 结合郑州降雨时间分布不均、降雨集中的特点和对一系列城市绿地雨水利用途径的分析,对现有不同类型绿地分别进行改造设计,在道路、广场、公园等多种城市绿地中运用雨水资源利用设施,例如建植物浅沟、下凹式绿地和雨水花园等隐形于城市绿地中的蓄水设施,提高对雨水的收集和渗透效率。

传统排水机制成本高、占地面积大,只是雨水排出的系统,而雨水作为未来城市发展的重要水源,如果仍然按照传统方式规划,则解决不了由于城市快速发展所引发的一系列环境问题。绿色生态排水系统与传统理念上的排水系统不同,它依托于城市绿地网络体系,对城市绿地进行改造,达到利用绿地对雨水进行蓄、渗、排的多重效果,构建绿色生态排水系统,将排水与景观合并是势在必行的选择。结合郑州市绿地建设城市蓄水调水系统,在城市绿地设计多目标中实现雨水资源利用多目标,提出从屋顶到道路、广场,再到绿地的雨水资源综合利用路线,将这些隐形蓄水设施相互连通,并使其与城市地下排水系统相连,运用于郑州市生态排水网络系统的构建,达到改善郑州水环境和减轻城市内涝灾害的目的,实现新型的可持续雨洪利用模式,使郑州市变成宜居的、可持续的、吸引人的城市。

#### 参考文献:

- [1] 吕树全. 雨水资源利用为城市水资源的可行性分析[J]. 硅谷, 2013(22):149-150.
- [2] 贾绍凤, 何希吾, 夏军. 中国水资源安全问题及对策[J]. 中国科学院院刊, 2004, 19(5):347-351.
- [3] 车伍, 周晓兵. 城市风景园林设计中的新型雨洪控制利用[J]. 中国园林, 2009, 24(11):52-56.
- [4] 张建云, 章四龙, 王金星, 等. 近 50 年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. 水科学进展, 2007, 18(2):230-234.
- [5] Tackett T. Seattle's Policy and Pilots to Support Green Stormwater Infrastructure[C]// Low Impact Development for Urban Ecosystem and Habitat Protection. ASCE, 2009:1-4.
- [6] 车伍, 张伟, 李俊奇, 等. 中国城市雨洪控制利用模式研究[J]. 中国给水排水, 2010, 26(16):51-57.
- [7] 车伍, 马震, 王思思, 等. 中国城市规划体系中的雨洪控制利用专项规划[J]. 中国给水排水, 2013, 29(2):8-12.
- [8] 张伟, 车伍, 王建龙, 等. 利用绿色基础设施控制城市雨水径流[J]. 中国给水排水, 2011, 27(4):22-27.
- [9] 闫攀, 车伍, 赵杨, 等. 绿色雨水基础设施构建城市良性水文循环[J]. 风景园林, 2013(2):32-37.
- [10] 田仲, 苏德荣, 管德义. 城市公园绿地雨水径流利用研究[J]. 中国园林, 2009, 24(11):61-65.
- [11] 陈朋成, 周孝德, 程文. 西北城市雨水资源化利用[J]. 西北水力发电, 2007, 23(2):31-34.
- [12] 冯峰, 谷晓伟, 何宏谋. 郑州市雨水资源利用潜力及效益量化研究[J]. 水资源保护, 2013, 29(4):68-71.
- [13] 田国行, 赵亚敏. 郑州市郑东新区东三环景观规划设计[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(5):171-175.
- [14] 路毅, 董艳桐. 城市绿地雨水利用的基本途径[J]. 北方园艺, 2008(9):145-147.
- [15] 潘文东, 潘学渊, 刘琳琳. 北方城市利用绿地滞蓄汛雨的分析与研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2):127-128, 132.
- [16] 高桥浩一郎. 月平均气温、月降水量和月蒸发量关系的推定[J]. 天气, 1979, 6(12):29-32.
- [17] 叶守泽. 水文及水利计算[M]. 北京:水利电力出版社, 1992.
- [18] 林冰. 大连市降雨特性与雨水资源化的研究[D]. 大连:大连理工大学, 2006.
- [19] 王淑芬, 杨乐, 白伟岚. 技术与艺术的完美统一:雨水花园建造探析[J]. 中国园林, 2009, 25(6):54-57.
- [20] Low State University. Iowa Stormwater Management Manual[M]. Iowa State: Iowa State University of Science and Technology, 2007.
- [21] 罗红梅, 车伍, 李俊奇, 等. 雨水花园在雨洪控制与利用中的应用[J]. 中国给水排水, 2008, 24(6):48-52.

(上接第 172 页)

- [9] Van Genuchten M T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44:892-898.
- [10] 刘恩斌, 董水丽. 黄土高原主要土壤持水性能及抗旱性的评价[J]. 水土保持通报, 1997, 17(7):20-26.
- [11] 郑纪勇, 邵明安, 张兴昌. 黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3):53-56.
- [12] 王军, 傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J]. 地理学报, 2000, 55(1):84-91.
- [13] 吕殿青, 邵明安, 潘云. 容重变化与土壤水分特征的依赖关系研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3):209-216.
- [14] 李阳芳, 宋维峰, 和俊, 等. 元阳梯田核心区不同土地利用类型土壤水文效应研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6):54-57.
- [15] Wei Jian-Bing, Xiao Du-Ning, Zeng Hui, et al. Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of the black soil region, northeastern China [J]. Environmental Geology, 2008, 53(8):1663-1672.