不同空间布局对城市降雨径流的影响

金牧青[1]，田国行[1]，白 天[1]，汪桂芳[1]，郑景飚[2]，何瑞珍[1]
(1.河南农业大学 林学院，河南 郑州 450002；2.信息工程大学 地理空间信息学院，河南 郑州 450001)

摘 要：[目的] 探讨不同城市空间布局(包括分析绿地、建筑)分别到出水口不同水流长度、面积比等因素与降雨径流的关系，以优化城市典型下垫面的空间布局，实现城市雨水径流的控制。[方法] 以漯河市中心城区为研究对象，基于 2016 年 3 月航拍影像，提取中心城区的土地覆被信息，利用 SWMM 模型分析研究区在不同降雨重现期的径流特征以及影响降雨径流的因素，并定量研究城市绿地、建筑不同空间分布格局对径流削减的影响。[结果] 绿地、建筑面积比与径流系数呈极显著负相关，二者到出水口的水流长度对产流效应有较显著影响，绿地较建筑离出水口近的子汇水区径流系数较小，其中重现期为 5 a 时，径流削减率最高可达到 44.49%。[结论] 结合水流长度、面积比等因素，合理安排绿地、建筑的规模及布局，可实现雨水空间再分配，从而达到削减径流的目的。

关键词：不同空间布局；径流；绿地；建筑
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2018)02-0033-07 **中图分类号**：S273.29，TU986

文献参数：金牧青，田国行，白天，等.不同空间布局对城市降雨径流的影响[J].水土保持通报，2018，38(2)：33-39. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.006. Jin Muqing, Tian Guohang, Bai Tian, et al. Influence of spatial layout on urban rainfall runoff[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 33-39.

Influence of Spatial Layout on Urban Rainfall Runoff

JIN Muqing[1], TIAN Guohang[1], BAI Tian[1], WANG Guifang[1], ZHENG Jingbiao[2], HE Ruizhen[1]
(1. *College of Forestry, He'nan Agriculture University, Zhengzhou, He'nan* 450002, *China*;
2. *Institute of Geographic Space, Information Engineering University, Zhengzhou, He'nan* 450001, *China*)

Abstract: [Objective] The objective of this thesis was to explore the spatial distribution of different cities and analyze how layout indexes, such as water flow length, and area ratio of both green space and buildings affect the runoff outlets. It was for the purpose of optimizing the spatial layout of urban typical bottom cushion and realizing the control of urban rainwater runoff. [Methods] Taking the central zone of Luohe City as the research object, based on the aerial image in March 2016, extracted the land cover information of the central urban area, and used the SWMM to analyze the runoff characteristics in different rainfall recurrence periods and to extract the factors affecting the rainfall runoff. At the same time, the influences of urban buildings and green spaces to runoff reduction and layout were also studied. [Results] There was a significantly negative correlation between the runoff coefficient and the values of green space and the construction area ratio. Additionally, the flow length of the water outlet had a significant effect on the runoff effect. The runoff coefficient of subcatchment was smaller which green space near the outlet was smaller than buildings, and it was found that the rate of runoff reduction got up to 44.49% when the recurrence period was 5 a. [Conclusion] Through reasonable arrangement of scale and layout of green space and construction in combination with factors as water flow length and area ratio, rainwater space redistribution can be realized, runoff reduction can be achieved.

Keywords: **different spatial layout; runoff; green space; buildings**

收稿日期：2017-10-13 **修回日期**：2017-11-10
资助项目：河南省乡土植物园项目(30801046)；国家自然科学基金项目(31470029)
第一作者：金牧青(1991—)，女(汉族)，河南省上蔡县人，硕士研究生，研究方向为风景园林规划设计与绿地资源调控。E-mail：1220350149@qq.com。
通讯作者：何瑞珍(1970—)，女(汉族)，河北省高邑县人，博士，副教授，主要从事 3S 地理信息系统和城市微气候方面的研究。E-mail：hrzzjd@126.com。

随着城市大规模的扩张,层出不穷的建筑群成为当今城市的新形态,城市地表环境和水文机制也发生了巨大的变化。土地利用方式的改变,导致耕地、绿地、河流等渗水表面遭到破坏,降低了对雨水的滞蓄能力[1-2],使得地表径流增加,径流系数增大,峰现提前,城市内涝灾害等问题越发突出[3]。研究[4]表明,不透水面积率是影响城市雨水径流量的重要指标。传统的雨水排放模式和狭隘的雨水资源化利用难以解决城市雨水径流带来的各种突出问题[5]。因此,研究城市下垫面空间变异性[6]对暴雨径流过程的影响极为重要。土地利用/覆被变化(land use/land cover change, LUCC)作为影响水文过程的主要因素成为目前国内外学者研究的热点问题[7-8]。区域尺度上的变化,城市不透水下垫面的大量增加,使地表植被的截留、入渗能力发生变化,进而改变了地表径流的时空模式[9-10]。土地利用结构与格局的变化,不仅影响流域径流系数,还明显影响着流域汇流过程[11]。早在 20 世纪 60 年代,欧美国家对 LUCC 水文效应的研究逐渐转向水文模型法,并对暴雨径流模型进行研制,其中运用较广泛的是由美国环保局推出的 SWMM 模型。70 年代,日本由于连续水灾,实行“综合治水对策”,调整土地利用格局,以促进水文循环的正常进行[12]。Onstad 等[13]最先尝试运用水文模型预测土地利用变化对径流的影响;Smith 等[14]将 GIS 和 SWMM 结合研究流域水量平衡,以及城市区域土地利用类型对降雨径流的影响;林凯荣等[15]对东江各子流域不同年份的不同土地利用情景的径流进行模拟研究;王振海等[16]分析总结了不同土地利用类型对径流影响的方法以及研究进展,并对未来的研究趋势进行讨论;袁艺等[17]利用分布式水文模型分析了土地利用方式、下垫面条件等因素变化对降雨—径流关系的影响,结果表明,土地利用格局的变化使年径流量和峰值径流量均呈增大趋势。董斌等[18]在研究绿地对不透水下垫面暴雨径流削减作用的过程中,通过试验探讨了有效延缓、削减洪峰流量的不透水下垫面和绿地最佳面积比,并对影响径流削减的因素进行分析;姚磊等[19]利用 GIS 和 RS 技术,结合 SCS 水文模型对北京市五环内不同功能区的降雨产流进行模拟分析,结果表明不同功能区的产流特征存在显著差异,不透水面比率是影响差异的主要原因;刘慧娟等[20]探讨城市不同下垫面类型及不透水面分布格局在不同降雨条件下的降雨产流过程,结果显示,雨强及下垫面类型均对产流效应有显著影响,同种降雨条件下,不透水面不同的分布位置产流效应差异显著。由于地表产流过程受多方面因素的影响,目前,多数研究是针对单一类型的地表,如何体现城市化进程中的下垫面空间变异性对径流的影响仍是研究的重点。本文利用 ArcGIS 强大的水文分析功能,结合 SWMM 模型,定量模拟不同空间布局(绿地、建筑)在不同降雨重现期下对径流量的影响,并结合相关因素(水流长度、面积比)与径流系数进行分析,研究城市下垫面不同分布格局对径流过程的影响,以预测模拟分析未来城市变化引起的径流过程。

1 研究区概况

漯河市位于河南省中南部,伏牛山东麓平原与淮北平原交错地带。境内河流为淮河流域沙颍河水系,淮河两发支流沙河、澧河贯穿全境并在市区交汇。漯河市属暖湿性季风气候,四季分明,多年平均降水量 749.2~814.2 mm,降雨量年度变化较大,年降水量最多达 1 370.4 mm(1982 年),最少只有 363.0 mm(1966 年),最大相差 3.78 倍。降雨时空分布不均匀,汛期(6—9 月)降雨占全年降雨量的 62%左右,3—5 月降雨量占 21%,其他时间降雨量占 17%。

本文选择漯河市中心城区作为研究区域,包括郾城区、源汇区、召陵区、西城区、经济技术开发区及新区等部分范围。截止 2016 年,漯河市中心城区面积约为 158 km^2,其中绝大部分为工业用地和居住用地,其余为绿地、道路广场用地、教育与行政用地、商业服务业设施用地等。该区域地势平坦、局部低洼,自西北向东南倾斜,短时暴雨降水极易产生较大的径流。

2 研究区模型构建

2.1 土地覆被信息提取与划分

本研究基于 0.09 m 分辨率的漯河市中心城区航拍影像,获取时间为 2016 年 3 月,利用该时段的影像,能够有效的获取城市地表下垫面的覆被信息。利用 ArcGIS 10.2 软件,对影像进行融合、坐标配准、几何纠正等预处理工作,并利用计算机进行人工目视判读解译。根据汇水面透水和不透水性质,最终将研究区划分为 7 种土地覆被类型:绿地、水体、耕地、道路、建筑、广场以及其他用地。其中,其他用地主要是指未被利用的土地以及正在建设的用地。

2.2 研究区域概化

漯河市中心城区总面积为 158.12 km^2。结合航拍影像,利用 ArcGIS 计算可知不透水面积 80.96 km^2,占总面积 51.2%;透水面积 77.16 km^2,占总面

积 48.8%。根据 SWMM 模型的应用需求,利用 ArcGIS 的扩展模块 ArcHydro Tools 对漯河市 DEM 数据进行水文分析,最终将研究区域划分为 68 个子汇水区。

2.3　模型建立与参数设置

根据研究区域的 DEM、河网分布以及土地覆被信息等对城市径流的影响,确定各个子汇水面之间的流向关系,并应用 SWMM 模型建立漯河市中心城区暴雨内涝模型。针对本次研究的目的,雨洪模拟计算参数主要为水文参数,其中子汇水区面积、特征宽度、平均坡度以及不透水率等参数通过 GIS 计算获取。地表径流模拟采用非线性水库模型,主要参数有透水地表、不透水地表的曼宁系数以及洼蓄深度等。结合本次研究区域的土地利用类型,曼宁系数、洼蓄深度等参数可查阅相关资料或参考 SWMM 模型用户手册中的典型值。模拟降雨入渗采用 Horton 入渗模型,建模过程中根据各汇水面实际土壤类型,分别确定其最大入渗速率范围为 76.2 ～166.2 mm/h,最小入渗速率范围为 3.81～6.60 mm/h 以及衰减系数为 4 h^{-1}。

3　模拟结果与分析

根据漯河市近 20 a 城市扩张变化可发现,漯河城市建设开始由“背河”、“沿河”向“面河”、“跨河”发生转变,而这一范围的建筑密度均在 0.2 以上,不透水下垫面的比例较高,有开发强度大、高度发育成熟等特点,具有很强的典型性和代表性。根据构建好的 SWMM 模型,对漯河市中心城区不同重现期的降雨进行动态情景模拟,并通过对子汇水区域绿地、建筑的位置进行交换,分析布局改变对地表径流过程的影响。

3.1　设计降雨选择

根据《室外排水设计规范(2014 版)》要求,选择芝加哥降雨生成器,在降雨历时为 2 h、雨峰相对位置为 0.4 的情况下,根据漯河暴雨强度公式:

$$i=\frac{9.734(1+0.732\lg P)}{(t+8.7)^{0.677}} \quad (1)$$

式中:P——设计重现期(a);t——降雨历时(min)。

分别计算重现期为 1,2,5,10,20,50,100 a 的降雨量,得到结果分别为 43.76,53.40,66.14,75.18,85.43,98.17 和 107.81 mm,并将时间段为 1 min 的日降雨过程线作为模型降雨输入。

3.2　研究区绿地、建筑分布现状分析

利用漯河市中心城区航拍影像图对城市绿地、建筑进行人工解译和相关统计,可知绿地、建筑面积分别占区域总面积的 17.04%,20.97%(表 1)。其中绿地斑块面积在 1～5 000 m^2 范围内的绿地斑块数量约占总绿地斑块数量的 95.93%,占区域绿地总面积的 35.77%;大于 5 000 m^2 范围内的绿地斑块数量较少,且占区域绿地总面积的 64.23%(表 2)。通过对各子汇区建筑面积进行统计,其中建筑密度大于 0.2 的汇水面数量为 33,占总汇水面数量的 48.53%(表 3)。因此可知研究区区域内绿地以中小型斑块为主,数量多、面积较小,同时结合航拍影像可看出,建筑大都为居住用地和商业办公用地,主要集中在郾城区、源汇区及召陵区等。

表 1　漯河市中心城区绿地、建筑分布状况统计

绿地斑块数量	建筑斑块数量	绿地总面积/10^7 m^2	建筑总面积/m^2	绿地占总面积比例/%	建筑占总面积比例/%	中心城区总面积/10^8 m^2
24 517	27 472	2.70	33 166 152.83	17.04	20.97	1.58

表 2　不同绿地斑块面积范围内斑块数量及总面积

斑块面积范围	斑块数量	占总斑块数量比例/%	绿地斑块面积/10^5 m^2	占总绿地面积比例/%
1～100	10 577	43.14	4.65	1.73
100～500	7 852	32.03	18.17	6.74
500～1 000	2 413	9.84	17.26	6.41
1 000～5 000	2 676	10.91	56.29	20.89
5 000～10 000	500	2.04	35.00	12.98
10 000～20 000	281	1.15	38.80	14.40
20 000～50 000	166	0.68	49.70	18.44
50 000～100 000	35	0.14	24.30	9.02
大于 100 000	17	0.07	25.32	9.40

表 3　各子汇水面建筑密度统计

建筑密度范围	汇水面个数	占总汇水面数量比例/%	建筑面积/10^6 m^2
0～0.1	15	22.06	1.52
0.1～0.2	20	29.41	8.01
0.2～0.3	21	30.88	1.38
>0.3	12	17.65	8.10

3.3　城市不同空间布局对地表综合径流影响分析

通过对建筑密度大于 0.2 的子汇水区中绿地、建筑进行位置的交换,使得绿地与建筑到出水口位置的距离、面积同时发生转换,实现子汇水区内空间布局

的变化。忽略降雨蒸发量,且假设进入研究区域的雨水未排到地下管网,并通过自由扩散流到出水口的情况下,采用重现期分别为1,2,5,10,20,50,100 a的设计降雨,模拟空间布局变化前后对地表径流量、渗入损失以及地表最终蓄水的影响。由模拟结果可知,现状条件下(改变前),随着降雨重现期的增加,径流量和综合径流系数均呈上升的趋势,入渗量和地表蓄水也逐渐增加。径流深度从降雨重现期1 a条件下的14.59 mm上升到100 a条件下的59.93 mm。综合径流系数从1 a时的0.333增长到100 a时的0.556,增加了46.20%。这主要是由于漯河市中心城区约有48.80%的可透水下垫面,在降雨产流过程中,根据水量平衡原理,落入地表的雨水首先要满足地表填洼和地表附着水层的需求[21],之后形成地表径流,但是随着降雨强度的增大,入渗量对其敏感性逐渐减小,当地表达到稳渗状态后,降雨入渗率逐渐减小,径流量逐渐达到最大值。空间布局改变后,从整体上看较改变前,地表总下渗量有所增加、径流深度有明显减小,最终地表蓄水呈现先减小后增大的趋势。径流深度从降雨重现期1 a条件下的12.45 mm上升到100 a条件下55.30 mm。综合径流系数从1年一遇时的0.285增长到100年一遇时的0.513,较改变前有所减小。在重现期分别为1,2,5,10,20,50,100 a的设计降雨下,改变后比改变前的径流量分别减少了14.62%,13.49%,11.76%,10.58%,9.55%,8.43%,7.72%。下渗量分别增加了2.27,2.71,3.20,3.53,3.78,4.08,4.21 mm。分析其主要原因为:在平均坡度、土壤类型不变的前提下,研究主要针对绿地与建筑空间位置的交换,故改变布局后的子汇水面绿地面积则替代了现状建筑面积,建筑面积则替代了现状绿地面积。透水面积、不透水面积分别从改变前占总面积的48.8%,51.2%变为54.06%和45.94%,使得研究区透水面面积增加,不透水面面积减小,最终降雨入渗量增加、径流系数降低。可见,空间布局的改变对地表径流过程有一定的约束影响。

3.4 城市空间布局变化与径流关系分析

随着漯河市城市化进程的加快,城市透水面逐渐被不透水面取代,降雨集中并以汛期形式出现,导致内涝情况频繁发生。通过明确现状建筑密度大于0.2的汇水面区域范围,将研究区域绿地、建筑以及重点优化的子汇水区进行叠加,在重现期为5,10,50 a时,重点分析它们与径流的关系。①通过对空间布局改变前后绿地、建筑的面积以及径流量进行统计,建筑密度大于0.2的子汇水区对雨水的调蓄能力较差,降雨产生的径流量大。这些区域多集中在城市绿地率较低、建筑密度较高的源汇区、郾城区以及召陵区。分析其绿地与建筑的特征主要为绿地率较低,斑块较小、数量少且分散;建筑密度较高,数量多且相对集中,因此绿地无法对大量的雨水径流进行有效的调节。即城市建筑密度越大,绿地率越低,绿地对雨水的调蓄能力越差,导致地表径流量越大越容易发生内涝。②同时,建筑密度较高的区域则大多彼此通过道路广场等不透水面连接并且面积较大,大大增加了各个子汇水区不透水面的连接性,现有绿地形式对绿地率较高的区域没有起到较好的连接作用;对雨水径流缓解能力较好的区域则多为绿地与建筑面积比较大的区域,多分布在城市周边区域,建筑相对分散,不透水面彼此连接性较差。

3.4.1 城市绿地、建筑区域水流长度与径流系数的关系 由于不同的地面高程形成的水流方向、流经长度不同,空间布局的改变,可使汇水区内各子要素产生的径流到其相应的出水口的流经长度发生变化,为研究不同空间布局对径流系数的影响,将绿地、建筑区域的水流长度纳入分析。通过对布局改变前后每个子汇水区绿地到出水口距离L_1,L_1'以及建筑到出水口距离L_2,L_2'的统计,分析其水流长度对径流影响及其关系。由模拟结果看出,布局改变后,径流削减率随重现期的增大而减小,且随绿地、建筑到出水口距离增大而呈不规则的变化。当重现期为5 a时,径流削减率最高可达到44.49%,其中个别子汇水区径流削减率小于0,这是由于改变后绿地面积S_1<建筑面积S_2,故地表径流增加。由图1可知,布局改变后大部分子汇水区表现为:$L_1'<L_1$,$L_2'>L_2$。通过对比重现期为10 a的径流模拟结果可发现,径流系数较小的地区多分布在绿地离出水口近,且建筑离出水口远的子汇水区,即,$L_1<L_2$,$L_1'<L_2'$。由此说明雨水通过自由扩散,一部分流经绿地进行下渗调蓄,进而流向出水口。即不同的空间布局形式,绿地、建筑到出水口的水流长度对径流系数有一定的影响。

虽然模拟结果总体有一定的规律性,但是布局改变后个别区域出现差异性情况:①绿地到出水口距离显著增大,径流系数无明显变化;②绿地到出水口距离无明显改变,径流系数变化较大。考虑到区域的实际情况以及降雨强度,分析其主要原因:首先为研究绿地、建筑的水流长度与径流系数三者之间的关系,利用ArcGIS将区域中所有的绿地、建筑要素转化为点,进而计算它们分别到出水口的距离,忽略了绿地、建筑在实际中的分布情况;其次是初期模型建立过程中未考虑城市管网,地表径流除自由扩散外,

其余进入绿地、耕地等透水区进行下渗或流向河流排出,布局改变后,绿地、建筑面积较之前有所增大或减小,进而区域中透水、不透水面积发生变化,同时考虑布局改变对水流方向、长度的影响,最终整个区域的雨水调蓄能力发生变化;最后再结合绿地、建筑现状空间分布形态分析可知,绿地、建筑均匀集中分布以及分布在沙澧河两岸的汇水区域对雨水调蓄能力较强,绿地、建筑散点式分布的汇水区域对雨水的调蓄能力较弱,虽然绿地斑块较大,但建筑密度较高的区域则大多通过道路广场等不透水面连接且面积较大,极大增加了各个子汇水面中不透水面的连接性,雨水不能渗入绿地进行调蓄[22],容易产生径流。由此说明影响地表产流的因素有很多,而本节仅讨论了绿地、建筑水流长度与径流系数的关系。

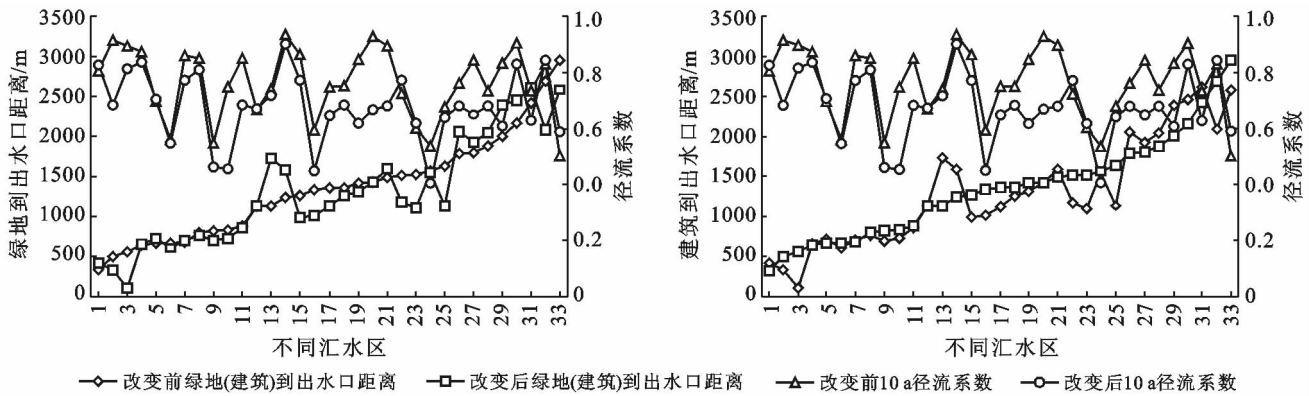


图 1　绿地、建筑区域水流长度变化对径流系数的影响

3.4.2　城市绿地、建筑面积比与径流系数的关系

在不同空间布局情况下,为探讨绿地、建筑面积比与径流系数的关系,本文对布局改变前后建筑密度大于 0.2 的子汇水区内的绿地面积 S_1 和 S_1',建筑面积 S_2,S_2'以及它们的比值 S_1/S_2,S_1'/S_2'进行统计,并将其比值按从小到大进行排列,结合模拟结果,分析绿地、建筑面积比与径流系数之间的关系。根据模拟结果可知,绿地、建筑面积的比值与径流系数呈现明显的负相关关系。通过利用 SPSS 对其相互的关系进行相关性分析,在重现期分别为 5,10,50 a 时,现状条件下相关系数分别为 −0.371,−0.382 和 −0.402,改变后的相关系数分别为 −0.472,−0.442 和 −0.393,且均在 0.05 水平上呈极显著负相关。说明绿地、建筑面积比对地表径流有显著影响。

3.5　空间布局变化对径流削减效果分析

为定量研究绿地、建筑布局变化对地表径流的削减作用,以漯河市中心城区建筑密度大于 0.2 的子汇水区为例,计算空间布局改变后不同汇水区内绿地、建筑面积比值的增加量,并在降雨重现期分别为 5,10,50 a 时,计算布局改变后径流削减率如图 2 所示。

利用 SPSS 对 33 个子汇水区内的绿地、建筑面积比增加量与径流削减率进行线性回归分析(表 4)。分析其相关系数 R,R^2,F 以及显著性概率的取值,可知绿地、建筑面积比增加量与径流削减率之间存在强烈的正相关性,建立线性模型,且显著性水平均小于 0.05。由此可得不同降雨条件下,空间布局变化后的回归方程分别为:

$$y_1 = 4.865x + 4.455;$$

$$y_2 = 4.342x + 4.109;$$

$$y_3 = 3.473x + 3.462。$$

式中:y_1,y_2,y_3——5,10,50 a 条件下每个汇水区内径流削减率;x——每个汇水区内绿地、建筑面积比增加量。

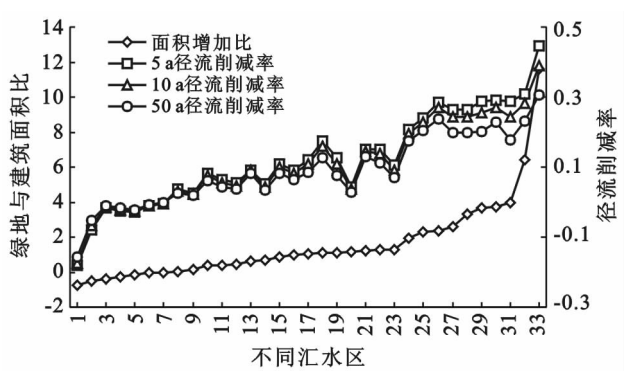


图 2　绿地与建筑面积比增加量对径流削减率的影响

上述回归方程的得出是在土壤类型一定的情况下,建筑密度大于 0.2,绿地率为 0%～30%且分布较为分散的汇水区作为本次研究的范围,定量研究不同降雨条件下城市径流削减率随绿地与建筑面积的比值的增加量的增大而增大。雨水径流削减主要是通过增加不透水面到出水口的水流长度,进入透水地表通过下渗来实现的。由此可知,水流长度和绿地率是

影响径流削减的主要因素。因此可通过合理优化绿地、建筑布局,改变其到出水口的流长,减小不透水面的面积、增加绿地对雨水的调蓄来实现对城市雨水径流的有效控制。

表4 研究区降雨径流回归分析汇总

分析类型	模型汇总②R	R^2	方差分析F	sig.	回归系数①模型	回归系数B	t检验	sig.
5年一遇	0.855①	0.730	83.894	0.000①	常量	4.455	2.968	0.006
					面积比增加量	4.865	9.159	0.000
10年一遇	0.839①	0.704	73.645	0.000①	常量	4.109	2.868	0.007
					面积比增加量	4.342	8.582	0.000
50年一遇	0.812①	0.659	59.966	0.000①	常量	3.462	2.726	0.010
					面积比增加量	3.473	7.744	0.000

注:① 预测变量(常量)绿地、建筑面积比增加量。② 因变量:径流削减率。

3.6 合理布局城市绿地、建筑的途径

通过上述空间布局变化对径流削减效应分析可知,绿地、建筑面积比、水流长度均对城市雨水径流有一定影响。基于漯河市中心城区的实际地被覆盖信息,根据不同汇水区内绿地、建筑空间分布形态,合理安排绿地、建筑的规模、优化其空间布局,增加透水面之间的连通性,以缓解城市雨水径流。①空间布局优化。河流对城市发展演变具有一定的引导作用。针对漯河市中心城区现状建筑密度大于0.2,绿地率较低且分散的区域,不仅需要整合绿地、建筑的布局,还需重点优化建筑、绿地与河流之间的关系,充分利用城市绿地、河流的生态功能以恢复城市水系统的循环过程。根据上述模拟结果可知,位于沙澧河两岸且绿地、建筑均匀集中分布的汇水区域,对雨水调蓄能力较强,通过增加绿地的规模、结合沙澧河构成雨水渗透廊道的方式,强化绿地与水体之间的连接,使雨水流入沙澧河,扩大雨水在透水区域的水循环,进而增强区域对雨水的调蓄能力。同时,可运用透水铺装材料如来代替硬质铺装,增加廊道的连接性。绿地、建筑分布不均且绿地率低于20%的汇水区域,对雨水的调蓄能力较弱,可在建筑、出水口以及汇水边界径流量大的区域周围均匀设置绿地,并结合公园绿地建设雨水花园、生物滞留沟,从场地源头逐渐减缓径流速度与流量。恢复城市二级、三级河流,增大各类分散绿地和水系之间的连接度,以点、线、面的形式纳入城市排水系统,增强对雨洪的调蓄能力。最终使排水路径由"绿地—建筑—街道—雨水口—城市管网"变为"建筑—绿地—街道—绿地—河流/雨水口—城市管网",强化绿地、河流、建筑、街道与雨水管网之间的联系。因此,合理布局漯河市绿地、建筑,适当增加绿地面积、提高廊道之间的连接度等措施以加大雨水在绿地河流之间的循环。②下垫面糙率系数的优化。糙率系数反映了径流经过流域表面时遇到的阻碍大小,一般透水面n值高于不透水面n值(例如本研究区透水面选值分别为0.15,0.24,0.4和0.8,不透水面选值为0.013,0.014)。通过对透水区域的乔灌草进行合理搭配,如乔木+灌木、乔木+草、灌木+草、乔木+灌木+草,增大透水面n值,减小雨水在绿地中的流速。不透水区域可利用屋顶绿化增大不透水面粗糙度,不仅减缓建筑产生的雨水径流,而且增加了对雨水的渗透。研究区中漯河市屋顶占不透水下垫面的40.97%,通过对建筑屋顶的改造设计,改变原有屋顶雨水径流的流向,从而减少地表雨水径流[23]。

4 结论

本次研究基于漯河市中心城区的高分影像,利用ArcGIS和SWMM构建暴雨径流模型,选取建筑密度高于0.2的汇水区进行空间布局变化模拟,得出不同空间布局对城市雨水径流具有显著影响。随着降雨重现期的增加,径流量和综合径流系数均呈上升的趋势,布局改变后,径流总量最高减少了14.62%,下渗量最高达45.48 mm。在降雨重现期为5,10,50 a的情况下,绿地、建筑面积比与径流系数呈极显著负相关,绿地较建筑离出水口近的子汇水区径流系数较小,且径流削减率随降雨重现期的增大而减小,随绿地、建筑面积比的增大而增大。

针对目前城市快速发展、用地紧张的情况,高分影像的利用能更好的对影响径流的土地利用进行的详细分类研究,揭示影响因子的变化信息,强化研究数据的支持。面对城市雨洪灾害,城市排水管网仍承担着重要的角色。在忽略降雨蒸发量的情况下,本文旨在研究雨水管网排水能力稳定的前提下,通过改变绿地、建筑的布局来实现对雨水径流的滞留、储蓄能力,以分担降低雨水管网的荷载能力。影响城市径流

过程的因素有很多,本次仅针对绿地、建筑这两种因素对城市径流影响进行研究,未能量化模拟分析城市排水管网特别是在建筑密集区域的城市管网对强暴雨天气下的显著作用,同时其他类型的下垫面对雨水径流的影响也有待进一步研究,故研究结论具有一定的特殊性。绿地作为生态系统的重要组成部分,在对雨水径流污染物的控制方面也起着重要的作用。在降雨—径流过程中,污染物可通过雨水径流渗透、滞留贮蓄到城市园林绿地中,依靠植物根系吸附等作用衰减雨水径流污染物的浓度、总量,充分发挥绿地的内循环,减小径流污染物对外部生态环境的影响。今后将结合排水管网针对不同类型下垫面的空间布局与城市径流的关系展开研究,实现雨水资源的再分配,为改善漯河城市内涝灾害、构建生态排水网络提出合理的实施途径。同时,城市绿地、河流对城市生态廊道、生态网络的构建具有重要作用。在城市河流的导向下,如何整合和优化城市绿地、建筑及河流的空间布局,充分发挥城市绿地、河流对雨水径流的复合生态功能,对城市水循环的改善和生态排水系统的建设具有重要的意义。

[参 考 文 献]

[1] 徐涵秋. 城市不透水面与相关城市生态要素关系的定量分析[J]. 生态学报,2009,29(5):2456-2462.

[2] Zevenbergen C, Gersonius B. Challenges in urban flood management: Travelling across spatial and temporal scales[J]. Journal of Flood Risk Management, 2008, 1(2):81-88.

[3] 黄廷林,马学尼著. 水文学[M]. 4 版. 北京:中国建筑工业出版社,2006.

[4] 龚清宇,王林超,苏毅. 可渗水面积率在控规中的估算方法与设计应用[J]. 城市规划,2006,30(3):67-72.

[5] 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.

[6] 石赟赟,万东辉,陈黎,等. 基于 GIS 和 SWMM 的城市暴雨内涝淹没模拟分析[J]. 水电能源科学,2014,32(6):57-60.

[7] 夏军、谈戈. 全球变化与水文科学新的进展与挑战[J]. 资源科学,2002,24(3):1-7.

[8] 李昌峰,高俊峰,曹慧. 土地利用变化对水资源影响研究的现状和趋势[J]. 土壤,2002,34(4):191-196.

[9] Shadeed S, Lange J. Effects of Land Use and Climate Changes on Storm Runoff Generation in Arid and Semi-Arid Catchments: Up to Date Modeling Capabilities[C] // International Conference, Water: Values and Rights. Palestine Academy for Science and Technology, Ramallah, Palestine. 2009.

[10] Bhaduri B. A Geographic Information System-based Model of the Long-Term Impact of Land Use Change on Non-point Source Pollution at Watershed Scale[D]. US: Purdue University, 1998.

[11] 袁艺,史培军,刘颖慧,等. 土地利用变化对城市洪涝灾害的影响[J]. 自然灾害学报,2003,12(3):6-13.

[12] 石原安雄. 现代城市与自然灾害[M]. 李学良,译. 北京:海洋出版社,1988.

[13] Onstad C A, Jamieson D G. Modelling the effects of land use modifications on runoff [J]. Water Resources Research, 1970,6(5):1287-1295.

[14] Smith D, Li J, Banting D. A PCSWMM/GIS: Based water balance model for the Reesor Creek watershed [J]. Atmospheric research, 2005,77(1):388-406.

[15] 林凯荣,何艳虎,陈晓宏. 土地利用变化对东江流域径流量的影响[J]. 水力发电学报,2012,31(4):44-48.

[16] 王振海,李传哲,于福亮,等. 土地利用/覆被变化对径流量影响研究进展[J]. 南水北调与水利科技,2014,12(1):88-93.

[17] 袁艺,史培军. 土地利用对流域降雨—径流关系的影响:SCS 模型在深圳市的应用[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2001,2(1):131-136.

[18] 董斌,翟俊. 绿地对不透水下垫面暴雨径流削减作用的研究[J]. 中国给水排水,2014,30(7):99-102.

[19] 姚磊,卫伟,于洋,等. 基于 GIS 和 RS 技术的北京市功能区产流风险分析[J]. 地理学报,2015,70(2):308-318.

[20] 刘慧娟. 城市典型下垫面产流过程模拟试验[J]. 资源科学,2015,37(11):2219-2227.

[21] 武晟,汪志荣,张建丰,等. 不同下垫面径流系数与雨强及历时关系的试验研究[J]. 中国农业大学学报,2006,11(5):55-59.

[22] 陈珂珂,何瑞珍,梁涛,等. 基于"海绵城市"理念的城市绿地优化途径[J]. 水土保持通报,2016,36(3):258-264.

[23] 杨晗. 郑州绿地中雨水资源有效利用的方法与途径研究[D]. 河南 郑州:河南农业大学,2013.