基于 SCS-CN 模型的郑州市区域产流特征研究

马丽君[1]，王传涛[1]，王雯军[1]，张丽丽[1]，黄海平[2]，张升堂[1]

（1.山东科技大学 地球科学与工程学院，山东 青岛 266590；2.南充职业技术学院，四川 南充 637131）

摘　要：［目的］根据郑州市下垫面产流情况研究该市内涝成因，为市区重要基础设施的暴雨内涝灾害风险防范与运行管理提供科学参考。［方法］利用 2016—2020 年的气象资料和 2020 年的土壤、坡度、土地利用资料，采用 SCS-CN 水文模型，计算下垫面径流量，研究坡度、土壤、土地利用与径流量的关系。［结果］①2016—2020 年郑州地表径流分布整体上呈“东北高，西南低”“城区高，山区低”的趋势，除水域外，径流量主要分布在人类活动较密集区域。②较缓坡的径流最大。坡度贡献率与面积呈正相关。③郑州市土壤分为 A（滨海风砂土）、B（黄绵土）、C（潮土等）、D（褐土性土）4 类。D 类径流最大，4 类径流逐步呈上升趋势。土壤贡献率与面积呈正相关。郑州市主要为 C 类潮土，下渗率低。④SCS 模型显示，前期土壤湿润程度越低，降雨下渗越多，径流越小。CN 值越大，可能最大滞留量（S）越小，径流量越大。［结论］郑州市地表产流在东北建设区域较为集中。产流越大，越易发生内涝。因此，应在产流集中的区域增加海绵砖、绿化带，及时修理排水管道。同时应推动郑州东南发展，以缓解郑州东北区域人类活动对地表产流的影响。

关键词：城市内涝；SCS-CN 水文模型；灾害风险；径流量；郑州市

文献标识码：A　　**文章编号：**1000-288X(2022)04-0203-07　　**中图分类号：**P333，P933，S157.1

文献参数：马丽君，王传涛，王雯军，等.基于 SCS-CN 模型的郑州市区域产流特征研究[J].水土保持通报，2022，42(4)：203-209.DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.20220608.001；Ma Lijun，Wang Chuantao，Wang Wenjun，et al. Regional runoff characteristics in Zhengzhou City based on SCS-CN model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2022，42(4)：203-209.

Regional Runoff Characteristics in Zhengzhou City Based on SCS-CN Model

Ma Lijun[1]，Wang Chuantao[1]，Wang Wenjun[1]，Zhang Lili[1]，Huang Haiping[2]，Zhang Shengtang[1]

（1.*School of Earth Science and Engineering*，*Shandong University of Science and Technology*，*Qingdao*，*Shandong* 266590，*China*；2.*Nanchong Professinal Technic College*，*Nanchong*，*Sichuan* 637131，*China*）

Abstract：［Objective］The causes of waterlogging in Zhengzhou City were studied in order to provide a reference for risk prevention and operation management of rainstorm waterlogging disasters in important parts of the urban infrastructure.［Methods］The SCS-CN hydrological model was used with meteorological data from 2016 to 2020，and with soil，slope，and land use data in 2020 to calculate the underlying surface runoff in Zhengzhou City and to study the relationship between slope，soil，land use and runoff.［Results］① The distribution of surface runoff in Zhengzhou City from 2016 to 2020 showed patterns of “high in the northeast，low in the southwest” and “high in urban areas and low in mountainous areas”. Runoff was mainly located in areas with more intensive human activities，except for water areas. ② Runoff was greatest on the gentle slopes. Slope contribution rate was positively correlated with area. ③ The soil in Zhengzhou City was divided into four categories：A（coastal aeolian sandy soil），B（loess soil），C（fluvo-aquic soil，etc.），and D（cinnamon soil）. The runoff of category D soil was the largest，and the four categories of soil all exhibited a gradual upward trend in runoff. There was a positive correlation between soil contribution rate and area. Zhengzhou City has primarily category C（fluvo-aquic）soil with low infiltration rate. ④ The SCS model showed that drier soil in the early stage leads to greater rainfall infiltration and less runoff. The larger the CN value，the smaller the S value（potential maximum retention or infiltration），and the larger the runoff.

收稿日期：2021-12-29　　**修回日期：**2022-03-11

资助项目：山东科技大学研究生科研创新项目“郑州市城市内涝成因研究分析”（YC20210845）

第一作者：马丽君（1997—），女（回族），宁夏回族自治区吴忠市人，硕士研究生，主要研究方向为水文与水资源。Email：malijun111122@163.com。

通讯作者：张升堂（1970—），男（汉族），陕西省凤翔县人，博士，教授，博士生导师，主要从事水文与水资源等方面的研究。Email：zst0077@163.com。

[Conclusion] Surface runoff in Zhengzhou City was more concentrated in the northeast construction area. Greater runoff was more likely to cause waterlogging. Sponge bricks and green belts should be added to areas where runoff is concentrated, and drainage pipes should be repaired in a timely manner. Development of southeastern Zhengzhou City should be promoted to alleviate the impact of human activities on surface runoff in Northeastern Zhengzhou City.

Keywords: urban waterlogging; SCS-CN hydrological model; disaster risk; runoff; Zhengzhou City

暴雨内涝灾害是指城市由于短时间的强降水或连续性降水超过了城市排水能力、地形低洼而引起的区域性积水灾害现象[1-2]。20 世纪 50 年代以来,随着全球气候变化的加剧加上城市化迅速扩张,改变了区域尺度的水文和气候特征,导致全球极端强降雨等极端气候条件突变式发生,并且受热岛效应影响,诱发了城市中大面积的内涝灾害,并且这种内涝灾害的频率和强度不断增强,影响范围也逐渐扩大[3-5]。近年来,国内城市暴雨造成的内涝事件时常发生,2021 年"7·20"郑州市特大暴雨事件更是千年一遇。因此,通过地表产流特征研究区域内涝成因对城市今后发展有重要意义。目前,国内已有许多利用 SCS-CN 模型对城市内涝成因的研究,但研究中土壤水文组中的土壤只是选择了该地区代表性土壤,并且在划分土壤水文组时并没有严格按照砂土、粉砂土、黏土的含量确定土壤类型的 CN 类(A,B,C,D),导致 CN 取值的不准确,从而影响计算径流的精度。

城市内涝灾害的频繁发生已成为阻碍城市发展和管理的突出问题。未来全球城市人口数量将达到 60%,内涝对这些人口密集、政府、商业和交通枢纽地区的影响是灾难性的[6-7]。暴雨内涝首先可能造成道路塌方等地质灾害,河堤、水库溃坝。其次,可能会造成交通中断,公路、铁路、地铁、航班都会受到不同程度的影响,因此研究郑州内涝的成因尤为重要。目前国内外许多学者对城市内涝的成因开展了大量的研究,开发的许多城市水文模型有:SCS-CN,SWMM,STORM,HSPF,Wallingford model 等,其中 SCS-CN 模型因其诸多优点得到广泛应用。朱思诚等[8]分析受涝原因是排水设施建设滞后、防洪排涝标准偏低、排水系统的老化以及管理不善等,面对频繁出现的暴雨,内涝积水反映出城市排水系统能力的不足。Huang Mingbin 等[9]通过 11 a 的试验,在 14%~140%的坡度范围内,建立了将坡度因子纳入 CN 方法的方程,该方程适合黄土高原陡坡地区的径流预测。吴志宜等[10]从下垫面入渗量分析,SCS 模型与 CA-Markov 土地利用模型耦合,可揭示土地利用类型与土壤组类型是洪峰径流量模拟的重要指标。张鑫等[11]探究黄土微地形条件下不同坡度(5°,15°,25°)对模型的初损率(λ)和径流曲线系数(CN)的影响及其变化规律。栾承梅等[12]将 SCS-Nash 耦合模型运用于江苏北部小流域,将 8 场完整洪水资料验证模型误差控制在 20%以内,为小流域洪水预报提供依据。

随着 3S 技术的快速发展,结合水文水力模型研究城市内涝灾害问题已经是研究的热点方向之一。近年来研究郑州市内涝成因较少,且现有基于 SCS-CN 模型的研究中土壤水文组的土壤只选择了代表性土壤。鉴于此,本文以郑州市作为研究区,基于 SCS-CN 产流模型,考虑不同下垫面产流影响,进而分析内涝原因,为探究城市建设引起的水文水循环的规律奠定基础,并为郑州城市化区域下垫面的水文响应研究和城市建设规划、防灾减灾提供科学依据,以提高城市对内涝灾害的应对能力。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

郑州市地处中国华中地区、黄河下游、中原腹地、河南中部偏北,东经 112°42′—114°13′,北纬 34°16′—34°58′,位于黄河中下游和伏牛山脉东北翼向黄淮平原过渡的交接地带;属北温带大陆性季风气候,四季分明。春季干旱少雨,夏季炎热多雨,秋季晴朗日照长,冬季寒冷少雪。郑州市冬季最长,夏季次之,春季较短,年平均 14.3 ℃。郑州年平均降雨量 640.9 mm,2016—2020 年郑州市降雨量在年平均降雨量上下波动,其中 2016 年降雨量最高,为 833 mm;2017—2018 年降雨量相差不大。在降雨、蒸发的影响下,2016 年郑州产流较多,2018 年产流较少。截至 2020 年底,郑州市总面积 7 567 km^2。郑州市位于秦岭东段余脉、我国第二级地貌台阶与第三级地貌台阶的交接过渡地带。总的地势为西南高、东北低,呈阶梯状下降,由西部、西南部构造侵蚀中低山,逐渐下降过渡为构造剥蚀丘陵、黄土丘陵、倾斜(岗)平原和冲积平原,形成较为完整的地貌序列。

1.2 数据来源及处理

1.2.1 土体利用数据及处理 影像数据来自地理空间数据云,2020 年 Landsat 8OLI_TIRS 遥感影像。利用根据《土地利用现状分类》国家标准,同时结合郑州市的土地利用现状以及研究需要,对分类系统进行调

整,将研究区土地利用类型划分为水田、旱地、水浇地、有林地、灌木林地、疏林地、园地、天然草地、人工草地、河渠、水库湖塘、滩地、城镇用地、农村居民点、其他建设用地、道路、未利用地共 17 个地类(见封 3 附图 1)。

1.2.2　*数据资料*　土壤数据来自资源环境科学与数据中心,利用全国土壤图提取研究区的土壤类型图和土壤质地图,并根据《国际制土壤质地分级标准》中砂土、粉砂土、黏土的含量确定研究区各类土壤类型的 CN 类(A,B,C,D)(表 1)[13]。降雨、蒸发等数据来自中国气象局,2016—2020 年逐日气象资料。DEM 数据来自地理空间数据云,ASTER GDEM 30 m 分辨率数字高程数据。根据 DEM 数据提取坡度数据(图 1)。

表 1　研究区土壤分类

CN 类别	土壤质地	土壤类型	分布范围
A	砂土、壤质砂土、砂质壤土	滨海风砂土	中牟县(2.89%)、管城回族区(0.28%)、新郑市(0.17%)
B	粉砂壤土、壤土	黄绵土	巩义市(3.08%)、荥阳市(1.72%)、登封市(0.74%)、新密市(1.26%)、上街区(0.01%)
C	砂黏壤土	棕壤、淋溶褐土、褐土、珊瑚砂土、酸性粗骨土、潮土、碱化潮土、湿潮土	中原区(2.45%)、惠济区(2.73%)、新密市(11.91%)、二七区(3.04%)、上街区(0.82%)、荥阳市(10.24%)、金水区(2.96%)、中牟县(15.51%)、登封市(9.59%)、管城回族区(2.33%)、新郑市(10.77%)、巩义市(10.25%)
D	黏壤土、粉质黏壤土、砂黏土、粉砂黏土、黏土	褐土性土	新郑市(0.72%)、登封市(5.65%)、巩义市(0.87%)、中牟县(0.01%)

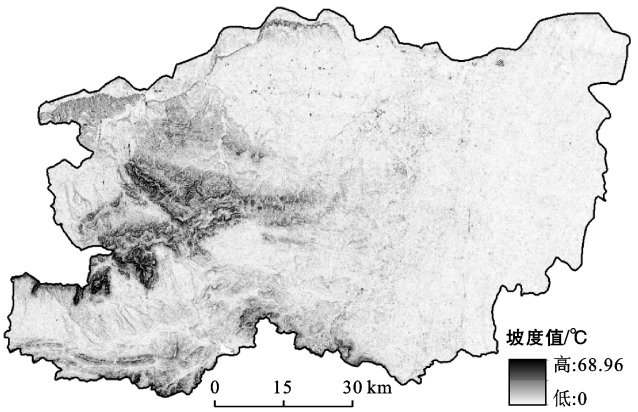

图 1　郑州市坡度分布

1.3　研究方法

本文利用 2020 年土地利用、坡度、土壤类型、土壤质地及 2016—2020 年气象等数据。降雨资料在获取时并没有 2021 年整年的数据,因此本文对前 5 a 的气象资料进行讨论。另外由于区域尺度内 5 a 的土地利用并没有太大的变化,因此基于 2020 年土地利用为基础,采用 SCS-CN 水文模型计算 2016—2020 年的径流量,对郑州市 5 a 的降雨—径流关系进行模拟,并分析土壤类型、土地利用类型、坡度类型对郑州降雨径流的影响(表 2)。

美国土壤保护局开发的 SCS-CN 降雨—径流模型综合考虑了流域下垫面因素和气象因素,能够反映不同土壤类型、不同土地利用类型对径流形成的影响,便于充分利用 GIS 与 RS 技术快速获取参数,对输入数据量要求不高、模拟精度高而被许多国家和地区广泛[14-19]。运用 SCS-CN 分布式水文模型估算径流量,计算公式为:

$$\begin{cases} Q=\dfrac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} & (P>I_a) \\ Q=0 & (P\leqslant I_a) \end{cases} \tag{1}$$

式中:Q 为径流量;P 为多年月平均降雨总量;I_a 为多年月平均降雨初损值,降雨初损量 I_a 包括树冠截流量、土壤表层蓄水量及蒸发量等[20-22];S 为可能最大滞留量(以上参数单位均为 mm);$I_a=\lambda S$,λ 是区域参数($0.1\leqslant\lambda\leqslant0.3$),主要受地质条件和气象因素影响,综合既有的相关研究并分析[12],确定研究区的 λ 值为 0.2。S 值的计算公式为:

$$S=25\ 400/\mathrm{CN}-254 \tag{2}$$

式中:CN 值是一个无量纲参数,值域区间为 0～100,主要是由土地利用现状、前期土壤湿度(AMC)及土壤类型和质地数据决定。CN 值越大,S 值越小,越易产生径流。土壤水文组反映土壤入渗能力,依据土壤种类将土壤划分为 A,B,C,D 这 4 类。土壤前期程度采用湿润指数对研究区多年平均降雨量和蒸发量数据进行计算[23],根据湿润指数 k 分为 3 级:干旱($\mathrm{AMC_{Ⅰ}}$)、正常($\mathrm{AMC_{Ⅱ}}$)和湿润($\mathrm{AMC_{Ⅲ}}$),3 种湿度条件下分别对应 $\mathrm{CN_{Ⅰ}}$,$\mathrm{CN_{Ⅱ}}$ 和 $\mathrm{CN_{Ⅲ}}$。对土地利用现状及土壤类型和质地数据进行空间分析和属性查询,根据美国国家工程手册 CN 值查算表和研究区实际情况,确定郑州市在正常状态下($\mathrm{AMC_{Ⅱ}}$)的 $\mathrm{CN_{Ⅱ}}$ 值,$\mathrm{CN_{Ⅰ}}$ 与 $\mathrm{CN_{Ⅲ}}$ 是基于 $\mathrm{CN_{Ⅱ}}$ 计算[24-28],如公式(3)—(4)。

$$\mathrm{CN}_I=\frac{4.2\mathrm{CN_{Ⅱ}}}{10-0.058\mathrm{CN_{Ⅱ}}} \tag{3}$$

$$\mathrm{CN_{Ⅲ}}=\frac{23\mathrm{CN_{Ⅱ}}}{10+0.13\mathrm{CN_{Ⅱ}}} \tag{4}$$

表 2 郑州市不同土壤类型的 CN 统计结果

土地类型	滨海风沙土(A)			黄绵土(B)			潮土等(C)			褐土性土(D)		
	$CN_{Ⅰ}$	$CN_{Ⅱ}$	$CN_{Ⅲ}$	$CN_{Ⅰ}$	$CN_{Ⅱ}$	$CN_{Ⅲ}$	$CN_{Ⅰ}$	$CN_{Ⅱ}$	$CN_{Ⅲ}$	$CN_{Ⅰ}$	$CN_{Ⅱ}$	$CN_{Ⅲ}$
水 田	43	64	80	56	75	87	66	82	91	70	85	93
旱 地	41	62	79	51	71	85	60	78	89	64	81	91
水浇地	39	60	78	52	72	86	63	80	90	67	83	92
有林地	15	30	50	34	55	74	49	70	84	58	77	89
灌木林地	19	36	56	39	60	78	53	73	86	61	79	90
疏林地	26	45	65	45	66	82	58	77	89	67	83	92
园 地	24	43	63	44	65	81	57	76	88	66	82	91
天然草地	29	49	69	48	69	84	61	79	90	69	84	92
人工草地	29	49	69	48	69	84	61	79	90	69	84	92
河 渠	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
水库湖塘	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
城镇用地	58	77	89	70	85	93	79	90	95	83	92	96
农村居民点	30	51	71	47	68	83	61	79	90	69	84	92
其他建设用地	64	81	91	75	88	94	81	91	96	85	93	97
道 路	95	98	99	95	98	99	95	98	99	95	98	99
未利用地	52	72	86	66	82	91	75	88	94	79	90	95
滩 地	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

2 结果与分析

2.1 地表径流特征

基于 SCS-CN 模型，通过对 2016—2020 年的径流计算，得出各年径流量值，结合 GIS 技术生成 2016—2020 年地表径流分布图(图 2)。从图 2 可以看出，2016—2020 年郑州市各土地利用的地表径流分布整体上没有太大的变化，大体上呈“东北高，西南低”“城区高，山区低”的趋势，其中除去水域地表径流情况(水域区域情况特殊，降水基本形成了产流，对人类生活、生产影响较小)，地表径流量最多的区域主要分布在中原区、二七区、管城回族区、金水区，这是由于这些区域土地类型主要以城镇建设用地为主，人类活动强度较强。地表径流量较少的区域主要分布在巩义市，这是由于巩义市土地类型主要以林地为主，人类活动较弱，因而地表径流量较少。其他区域土地类型主要以草地、耕地为主，地表径流量适中，人类活动强度相对适中。2016—2020 年土地类型径流量均值依次为：水域(河渠、水库湖塘、滩地)＞道路＞其他建设用地＞城镇用地＞未利用地＞水浇地＞水田＞农村居民点＞人工草地＞天然草地＞旱地＞疏林地＞园地＞灌木林地＞有林地。通过对 2016—2020 年的径流计算，得出径流变化如图 3 所示。2016—2020 年地表径流总体依次为：$Q_{2016}>Q_{2019}>Q_{2020}>Q_{2017}>Q_{2018}$。年径流量与土壤前期湿润程度(AMC)相关，根据降雨量与蒸发量得出湿润指数从而判定 AMC 状态。2016 年由于降雨增加(降雨量为 833 mm)，蒸发减少(蒸发量仅有 907.9 mm)，$AMC_{Ⅱ}$(正常)、$AMC_{Ⅲ}$(湿润)状态较多，土壤前期程度越湿润，在降雨增加、蒸发减少的情况下，年地表径流越多；而 2018 年由于降雨减少(降雨量仅有 609.5 mm)，温度过高导致蒸发增加(蒸发量为 1 833.1 mm)，$AMC_{Ⅰ}$(干旱)、$AMC_{Ⅱ}$(正常)状态较多，土壤前期程度越干旱，在降雨减少，蒸发增加的情况下，年径流量越少。

2.2 郑州不同土地利用地表径流特征

统计研究区不同土地利用类型的面积比例、径流量均值、贡献率(各土地利用类型径流量占总径流量的比例)如图 4 所示。研究区总面积约为 7 567 km^2，其中旱地占地面积最大(3 262.43 km^2)，所占比例为 43.11%；其次为城镇用地(1 091.48 km^2)、有林地(730.2 km^2)、农村居民点(548.21 km^2)；未利用地(330.55 km^2)、其他建设用地(312.77 km^2)、天然草地(292.85 km^2)、道路(267.75 km^2)、园地(189.42 km^2)、河渠(174.77 km^2)、人工草地(142.42 km^2)面积次之，所占比例分别为 4.37%，4.13%，3.87%，3.54%，2.50%，2.31%，1.88%；水田、灌木林地、滩地、水库湖塘、水浇地、疏林地面积较小，所占比例分别为 1.11%，0.76%，0.41%，0.37%，0.22%，0.10%。径流量均值除去水域情况(受人类影响活动较小)，道路、城镇建设用地、其他建设用地地表产流较大。不同土地类型的贡献率是由各土地类型面积、径流量均值所决定。旱地和城镇建设用地贡献率较大，所占比例分

别为 23.83%和 10.32%,这是因为旱地的面积较大,城镇建设用地的径流量和面积相对较大。旱地的贡献率要大于城镇建设用地,这是由于旱地的面积较大。

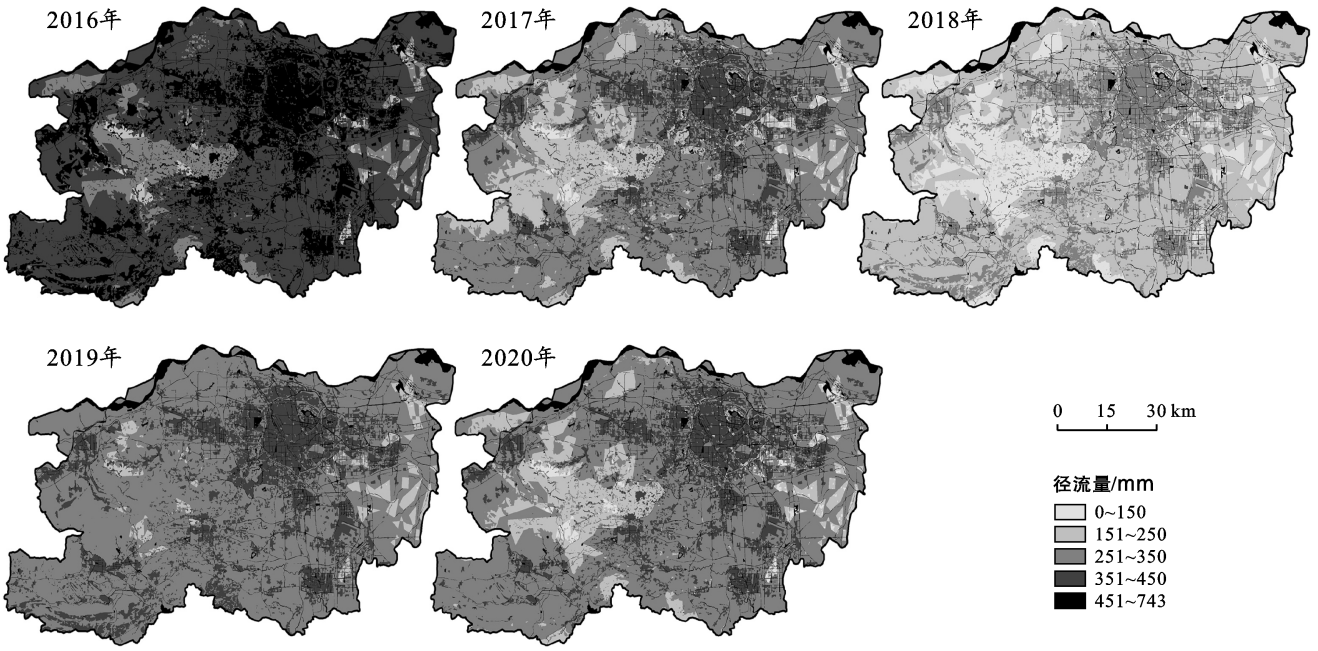

图 2　郑州市 2016—2020 年地表径流分布

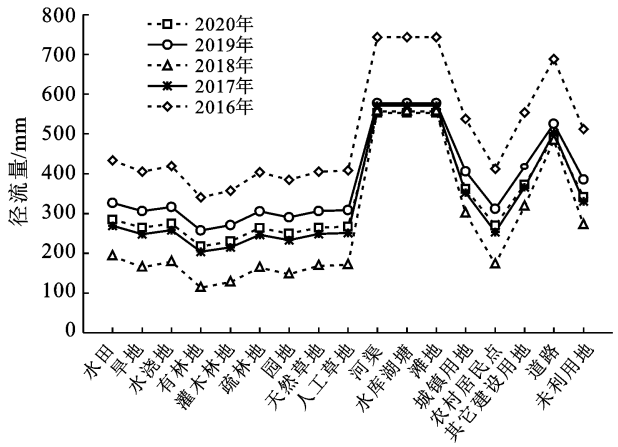

图 3　郑州市 2016—2020 年不同土地利用类型地表径流变化

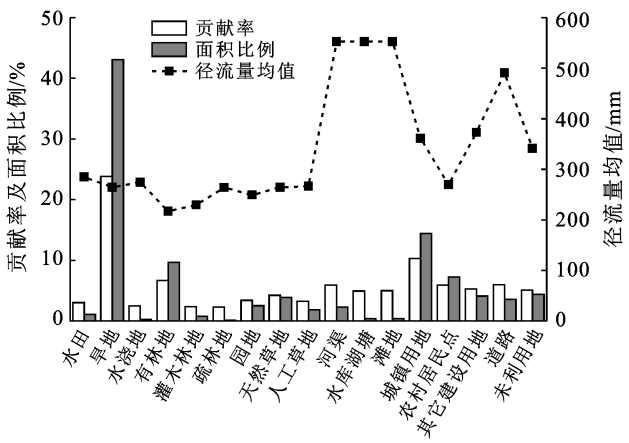

图 4　郑州市 2020 年不同土地利用类型径流特征

2.3　郑州市不同坡度地表径流特征

统计研究区不同坡度的面积比例、径流量均值、贡献率,结果如图 5 所示。根据不同的坡度可分为微坡(<5°)、较缓坡(5°～8°)、缓坡(8°～15°)、斜坡(15°～25°)、陡坡(25°～35°)、急坡(>35°)6 大类。研究区主要以微坡为主,急坡最少。对于研究区坡度径流量均值,较缓坡最大,为 304.11 mm,主要分布城镇建设用地、水域,所以径流量均值较大;其次为缓坡、微坡,径流量均值分别为 299.35 和 296.68 mm;斜坡、陡坡、急坡的径流量均值最小,分别为 284.37,268.33 和 263.51 mm,这主要因为林地、草地主要分布在这些坡段。微坡的贡献率最大,所占比例为 42.63%,这是由于郑州大部分地区处于微坡,地势较平坦,面积比例达到 67.98%。陡坡和急坡贡献率最少,分别为8.51%和 7.90%,这是由于陡坡和急坡的面积比例较小,分别只有 1.38%,0.44%。较缓坡和缓坡贡献率相差不大,这主要由于两者面积、径流量相差不大。斜坡较前两者较小,这主要由于斜坡面积、径流量较小。总体上,贡献率呈下降趋势,较缓坡至急坡相差不是太大;微坡—急坡类型的面积也呈下降趋势,表明郑州市地势较平坦。由此可见,贡献率与面积呈正相关。各坡度类型的径流量均值虽有差别,但是相差不是太大,在 0～40 mm 之间波动。

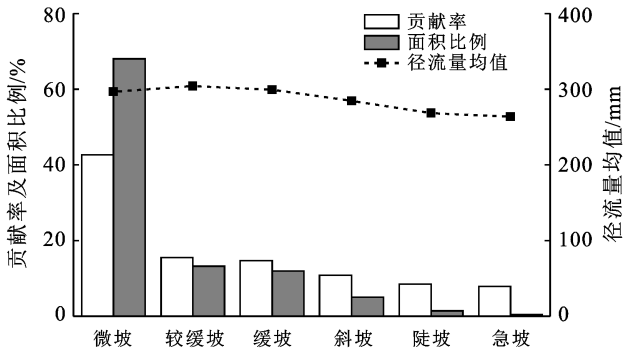

图 5 郑州市不同坡度径流特征

2.4 郑州市不同土壤类型地表径流特征

统计研究区 A,B,C,D 4 类土壤面积比例、径流量均值、贡献率(图 6)。A—D 类的径流量均值呈上升趋势,这是因为土壤类型的特性所致。A 类土壤径流量均值为 207.06 mm,A 类土壤土层较厚,多为沙和黄土,渗透性较强;B 类土壤径流量均值为 256.60 mm,B 类土壤土层较薄,多为沙壤土和黄土,渗透性良好;C 类土壤径流量均值为 314.31 mm,C 类土壤为轻壤土,黏壤土,渗透性一般;D 类土壤径流量均值为 341.94 mm,D 类土壤多为黏土,塑性大,渗透性差。4 类土壤中,面积比例大小依次为 C,D,B,A,其中 C 类土壤中潮土所占比例最多,可见郑州大部分土壤为 C 类土壤潮土,这也是郑州市容易滞涝的原因之一。贡献率 C 类土壤最高,为 55.33%,这是由于 C 类的土壤类型面积比例最大;其次是 D 类、B 类,所占比例分别为 18.89%,14.86%;贡献率 A 类最小,所占比例为 10.91%,这主要由于 A 类土壤的面积比重最小,可见土壤类型的贡献率与面积所占比例成正比关系。

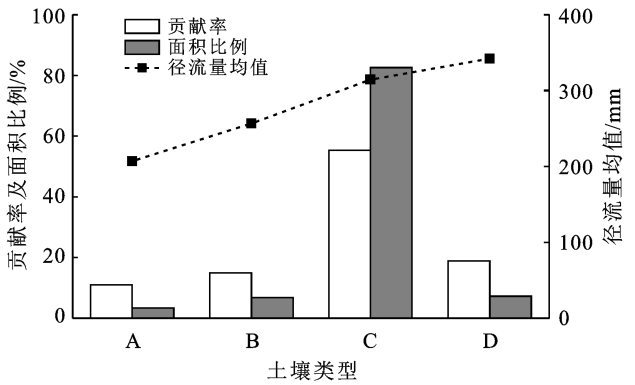

图 6 郑州不同土壤类型径流特征

3 结论

(1) 2016—2020 年郑州市地表径流分布整体上呈“东北高,西南低”“城区高,山区低”的趋势,除水域外,地表径流量最多的区域主要分布在中原区、二七区、管城回族区、金水区。水域、道路、建设区域产流能力较大。2016 年地表产流最大。

(2) 6 类坡度中较缓坡径流量最大;微坡由于城镇建设较为集中,贡献率最大。坡度贡献率与面积呈正相关。

(3) 郑州 D 类土壤径流量最大,4 类土壤的径流量逐步呈上升趋势,主要由于土壤特性所致。C 类土壤贡献率最大,与土壤面积有关,并且呈正相关。郑州市土壤多为 C 类潮土,这也是郑州容易滞涝的原因之一,土壤下渗率低。

(4) SCS 模型显示,在相同降雨量、同一时期的径流量与前期土壤湿润程度的关系表现为:$AMC_{Ⅲ}>AMC_{Ⅱ}>AMC_{Ⅰ}$,前期土壤湿润程度越干,降雨量下渗越多,径流量越小。CN 值越大,S 值越小,径流量越大。城市化速度越快,增加不透水面积,径流量也会增多。产流越大,越易发生内涝。应在产流集中的区域增加海绵砖、绿化带,及时修理排水管道。推动郑州东南区域发展,以缓解郑州东北区域人类活动对地表产流的影响。

城市内涝的主要影响因素有产流和排水,由于排水管道数据较难获取,本文研究了产流因素,建议在今后研究中可以考虑排水条件因素。另外需要说明的是,本文利用的 SCS-CN 模型参数是基于美国的情况确定的,CN 值是依据研究区土壤情况、其他国内研究者相关文献所确定的,因此 SCS 模型参数的确定需进一步精确。随着城市化速度加快,城市内涝频率也越来越高,因此,研究适合各地区城市内涝的水文模型,使其研究结果更为科学、正确,也是今后研究的热点方向之一。

[参 考 文 献]

[1] 陈俊明.基于 SCS-CN 福州城区内涝风险空间划分与特征分析[J].地理空间信息,2020,18(4):92-95,124,7.

[2] 景垠娜,尹占娥,殷杰,等.基于 GIS 的上海浦东新区暴雨内涝灾害危险性分析[J].灾害学,2010,25(2):58-63.

[3] 王娇.西安市内涝灾害风险动态评估模型研究与应用[D].陕西 西安:西安理工大学,2020.

[4] 姚远.郑州市地下轨道交通沿线建筑物暴雨内涝脆弱性评估[D].河南 郑州:华北水利水电大学,2019.

[5] 吴安坤,黄钰,张淑霞.基于 SCS 模型的城市内涝灾害风险评价[J].防灾科技学院学报,2020,22(2):50-57.

[6] Totaro F, Alberico I, Di Martire D, et al. The key role of hazard indices and hotspot in disaster risk management: The case study of Napoli and Pozzuoli municipalities(Southern Italy) [J]. Journal of Maps, 2020, 16(2):68-78.

[7] Geravand F, Hosseini S M, Ataie-Ashtiani B. Influence of river cross-section data resolution on flood inundation modeling: Case study of Kashkan River basin in Western Iran [J]. Journal of Hydrology, 2020,584:124743.

[8] 朱思诚,任希岩.关于城市内涝问题的思考[J].行政管理改革,2011(11):62-66.

[9] Huang Mingbin, Gallichand J, Wang Zhanli, et al. A modification to the soil conservation service curve number method for steep slopes in the Loess Plateau of China [J]. Hydrological Processes, 2006,20(3):579-589.

[10] 吴志宜,俞志强,朱雪坚,等. SCS 模型在不同土地类型地表产流计算中的应用:以余姚地区为例[J].浙江大学学报:理学版,2016,43(2):226-230.

[11] 张鑫,张青峰,周阳阳,等.不同坡度黄土微地形条件下 SCS-CN 模型参数研究[J].水土保持研究,2019,26(2):74-77.

[12] 栾承梅,梁忠民,仇少鹏,等.山丘区小流域 SCS-Nash 产汇流模型应用[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(2):246-254.

[13] 吴克宁,赵瑞.土壤质地分类及其在我国应用探讨[J].土壤学报,2019,56(1):227-241.

[14] Boughton W C. A review of the USDA SCS curve number method [J]. Soil Research, 1989,27(3):511-523.

[15] Liu Xianzhao, Li Jiazhu. Application of SCS model in estimation of runoff from small watershed in Loess Plateau of China [J]. Chinese Geographical Science, 2008,18(3):235-241.

[16] Jung J W, Yoon K S, Choi D H, et al. Water management practices and SCS curve numbers of paddy fields equipped with surface drainage pipes [J]. Agricultural Water Management, 2012,110:78-83.

[17] Reistetter J A, Russell M. High-resolution land cover datasets, composite curve numbers, and storm water retention in the Tampa Bay, FL region [J]. Applied Geography, 2011,31(2):740-747.

[18] Verma S, Singh P K, Mishra S K, et al. Activation soil moisture accounting(ASMA)for runoff estimation using soil conservation service curve number(SCS-CN) method [J]. Journal of Hydrology, 2020,589:125114.

[19] 王冬,李丽,王加虎,等.径流曲线数(SCS-CN)模型在洪水预报中的应用研究[J].中国农村水利水电,2017(8):108-112.

[20] 刘家福,蒋卫国,占文凤,等. SCS 模型及其研究进展[J].水土保持研究,2010,17(2):120-124.

[21] 雷晓玲,邱丽娜,魏泽军,等.基于 SCS-CN 模型在山地海绵城市不同下垫面径流预测的优化及应用[J].中国农村水利水电,2021(11):49-52,57.

[22] 费茉莉,刘苇航,王席,等.城市暴雨内涝模拟模型优化与精度验证[J].地球信息科学学报,2017,19(7):895-900.

[23] 马永强,李梦华,郝姗姗,等.黄土丘陵沟壑区雨水资源化途径及潜力分析[J].中国农村水利水电,2018(7):9-14.

[24] 徐刘凯,王全金,向速林.应用 SCS 模型模拟清丰水流域产汇流量[J].华东交通大学学报,2011,28(4):84-88.

[25] 符素华,王向亮,王红叶,等. SCS-CN 径流模型中 CN 值确定方法研究[J].干旱区地理,2012,35(3):415-421.

[26] 郭晓辉,王秀茹,王希.基于 SCS-CN 和 GIS 的潜在集雨工程位置确定[J].湖南农业科学,2014(17):48-52.

[27] 杜世勋,郭新亚,荣月静.基于 Budyko 假设和 SCS-CN 模型的河源区水源涵养功能研究[J].水土保持研究,2018,25(1):147-152.

[28] 李星瑶,张根广,高建恩,等.沟道土地整治对不同植被覆盖流域 CN 值的影响[J].水土保持通报,2021,41(4):54-60.

(上接第 202 页)

[13] 李建东,王旭,张延杰,等.F1 离子固化剂加固黄土强度及微观结构试验研究[J].东南大学学报(自然科学版),2021,51(4):618-624.

[14] 陈丹,吕春娟,郭星星,等.容重对铁尾矿水分运移特征的影响[J].水土保持通报,2019(1):78-84.

[15] 崔宏环,秦晓鹏,王文涛,等.冻融条件下非饱和路基土的强度及微观特性研究[J].冰川冻土,2019,41(5):1115-1121.

[16] 崔凯,王东华,谌文武,等.基于改性糯米灰浆的 3 种锚杆锚固性能对比研究[J].岩土力学,2018,39(2):498-506.

[17] 纪晓佳,宋茂强,庞苗.糯米浆三合土的物理力学性能试验研究[J].建筑技术,2013,44(6):540-543.

[18] Zhang Qi, Li Beibei, Zeng Qiang, et al. Erosion of aerial lime and sticky rice mortars by cyclic wetting-drying and dilute sulfate acid actions [J]. Advances in Cement Research, 2020,32(8):343-357.

[19] Li Jiandong, Wang Xu, Zhang Yanjie, et al. Study on strength characteristics and mechanism of loess stabilized by F1 ionic soil stabilizer [J]. Arabian Journal of Geosciences, 2021,14(12):1-11.

[20] 中华人民共和国交通运输部.JTGE51-2009 公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].北京:人民交通出版社,2009.

[21] 国家质量技术监督局,中华人民共和国建设部.GB/T50123-1999 土工试验方法标准[S].北京:中国计划出版社,1999.