



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.05.008

马亚鑫, 周维博, 宋扬. 西安市主城区土地利用变化及其对地表径流的影响[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(5): 49-54, 90. MA Ya xin, ZHOU Wei bo, SONG Yang. Land use change and its impact on surface runoff in the main city of Xi'an[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(5): 49-54, 90. (in Chinese)

# 西安市主城区土地利用变化及其对地表径流的影响

马亚鑫<sup>1,2</sup>, 周维博<sup>1,2</sup>, 宋扬<sup>1,2</sup>

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 西安 710054; 2. 长安大学 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 西安 710054)

**摘要:** 为探究西安市城市化引起的土地利用/覆被格局变化对降雨-径流过程产生的影响, 借助 ARCGIS 空间分析工具, 采用 SCS 模型对西安市主城区降雨-径流过程进行模拟, 结果表明: CN 的高值区在逐步扩大; 在相同前期土壤湿润程度状态下, 同一时期的径流量随着降雨量的增大而增大; 根据 1995 年、2000 年、2006 年、2010 年四期土地利用数据得到三个时段的土地利用转移矩阵, 可知产流能力较强的城镇建设用面积逐步扩大, 产流能力较小的耕地、林地的面积逐步减小。可见, 城市化建设的快速发展导致土地利用类型发生变化, 使得西安市主城区的径流增大。

**关键词:** 西安市主城区; 土地利用; 径流; SCS 模型; CN 值; 土地利用转移矩阵; 城市化

**中图分类号:** P333.5   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1672-1683(2016)05-0049-06

## Land use change and its impact on surface runoff in the main city of Xi'an

MA Ya xin<sup>1,2</sup>, ZHOU Wei bo<sup>1,2</sup>, SONG Yang<sup>1,2</sup>

(1. College of Environmental Engineering and Science, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. The Ministry of Education Key Laboratory of Arid Regions of the

Underground Hydrology and Ecology Effect, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The land use change caused by the urbanization in Xi'an will affect the rainfall runoff. In order to explore the effect, in this paper with the help of ARCGIS spatial analysis tools, SCS model was applied to study the rainfall runoff process of the main city in Xi'an. The results showed that the high value area in CN value was gradually expanding. At the same antecedent soil moisture degree, runoff increased with increasing rainfall. According to processing of land use data of 1995, 2000, 2006 and 2010, matrix of land use for the three periods was obtained. It could be concluded that the area of urban construction land which has the strong ability in runoff gradually expanded. In contrast, the area of farmland and woodland gradually decreased. The rapid development of urbanization led to the changes in land use types, which caused runoff increase in the main city of Xi'an.

**Key words:** Xi'an; the land use; runoff; SCS model; CN; the transfer matrix of land use; urbanization

随着城市化建设的快速发展, 城市规模的急剧扩大, 土地利用与土地覆被格局发生了变化, 不断在改变和影响城市产汇流条件、地下水的补径排关系, 深刻影响着城市水循环系统, 从而引发了一系列水资源和水环境的问题<sup>[1]</sup>, 因此, 对土地利用/覆被变

化的研究成为当今全球变化区域响应研究的热点和重点<sup>[2]</sup>。

SCS 水文模型是美国农业部水土保持局研制的小流域设计洪水模型<sup>[3-6]</sup>, SCS 模型能够客观反映土壤类型、土地利用方式及前期土壤含水量对降雨径

收稿日期: 2015-12-16   修回日期: 2016-05-06   网络出版时间: 2016-08-19  
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160819.0937.008.html>  
基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(12120113004800)

**Fund:** China Geological Survey Bureau of Geological Survey Projects (12120113004800)  
**作者简介:** 马亚鑫(1990), 女, 河北邢台人, 主要从事水文地质方面的研究。E-mail: 965851881@qq.com

**通讯作者:** 周维博(1956), 男, 陕西乾县人, 教授, 博士, 从事水资源与水环境及节水灌溉方面的教学与研究工作。E-mail: zw\_bzyz823@163.com

流的影响,近年来,在水土保持与防洪、城市水文及无资料流域的多种水文问题等诸多方面得到应用。中国在 20 世纪 80 年代后开始介绍并应用 SCS 模型,如史培军等采用 SCS 模型对深圳市土地利用变化对流域径流的影响进行研究<sup>[7]</sup>,刘贤赵等基于 SCS 模型在黄土高原小流域对降雨径流关系进行模拟<sup>[8]</sup>,李常斌等对 SCS 模型中 CN 值进行反推,并研究该模型在黄土高原典型流域降雨-径流模拟的应用<sup>[9]</sup>,张美华等利用 SCS 模型对密云石匣试验小区进行降雨径流量估算<sup>[10]</sup>。上述研究仅限于对小流域范围内的 CN 值建立了经验值,计算的径流精度较高,但对于城市地区的研究较少。

文章将西安市主城区作为研究对象,以 SCS 模型为基础,利用遥感图像、土地利用及降雨等数据对中心城区的 20 年的降雨-径流关系进行模拟,分析土地利用变化对主城区的降雨径流的影响,为探究城市建设引起的水文水循环的规律奠定基础,并为城市化区域土地利用/覆被变化的水文响应研究和城市建设规划提供依据。

## 1 研究区域概况

### 1.1 研究区概况

西安市位于黄河流域中部关中平原,位于东经 107°40′ - 109°49′,北纬 33°4′ - 34°44′,西安市属于暖温带半湿润季风气候,年平均气温为 13.3℃,多年平均降水量 611.5 mm,降水量年内分配不均匀,多集中于 7 月-10 月。其中主城区包括新城区、碑林区、莲湖区、灞桥区、未央区、雁塔区;面积达 826 km<sup>2</sup>,占全市总面积 8.24%。

### 1.2 数据资料

#### 1.2.1 土地利用数据与处理

在地理空间数据云中下载西安市 1995 年、2000 年、2006 年、2010 年 TM 遥感影像,用 ERDAS9.1 软件对遥感图像进行大气辐射校正及几何校正,并进行掩膜裁剪,获得西安市主城区的遥感影像图。根据《土地利用现状分类》国家标准,同时结合西安市主城区的土地利用现状以及研究需要,对分类系统进行调整,运用 ERDAS9.1 软件对此遥感影像进行监督分类,将研究区的土地利用类型划分为耕地、林地、水域、园地、城镇工矿建设用地、未利用地,共 6 类。结合同期参考资料,通过随机选取样本,进行精度评估,计算其 Kappa 指数。对 4 期遥感影像的分类结果进行精度检验。结果表明,Kappa 指数分别为 0.81(1995 年)、0.86(2000 年)、0.87(2006

年)、0.88(2010 年),均达到最低允许判别的精度 0.7<sup>[11]</sup>。最后通过聚类、去除、重编码处理得到西安主城区不同时期的土地利用图。

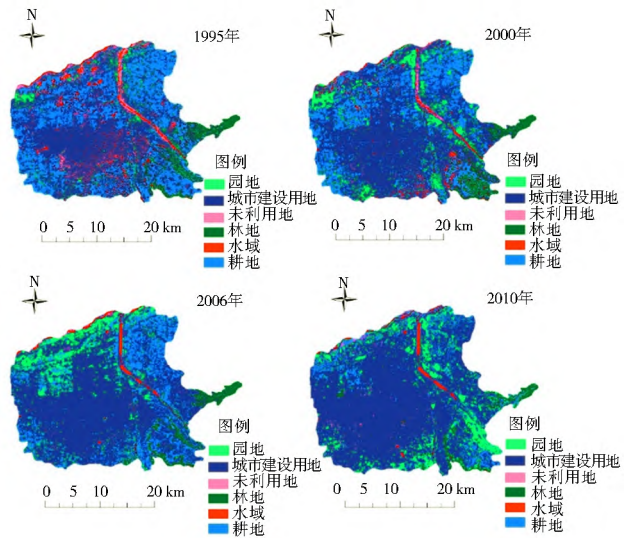


图 1 1995, 2000, 2006, 2010 年西安市主城区土地利用类型

Fig. 1 Land use map in the main city of Xi'an in 1995, 2000, 2006 and 2010

#### 1.2.2 土壤数据

从全国土壤图中裁剪出研究区的土壤栅格图,并以研究区的实际情况为基础,根据 SCS 模型的土壤分类标准对土壤进行重分类,得到西安市主城区的土壤类型分类结果(表 1)。

表 1 土壤类型分类

Tab. 1 Soil classification

土壤类型	最小下渗率/(mm·h <sup>-1</sup> )	土壤质地
A	> 7.26	厚层砂土、厚层黄土、砂质壤土
B	3.81~7.26	壤土、粉砂壤土
C	1.27~3.81	黏壤土、薄层沙壤土、有机质含量低的土壤
D	0~1.27	黏土、砂黏土、人工硬质地面

注:引自 National Engineering Handbook Section 4 并做了一定修正。

#### 1.2.3 降雨数据

本文研究区域为西安市主城区,因此选取来自西安站提供的西安市 1980 年-2010 年月的实测降雨资料。

## 2 研究方法

### 2.1 SCS 模型

本文选取由美国农业水土保持局开发的经验水文模型—SCS 水文模型对降水-径流过程进行模拟,该模型适合用于水文、气象资料缺乏的研究区域,充分考虑了流域下垫面的特点,在水文模型参数和遥感信息之间建立直接的联系,并考虑到人类活动对

径流的影响。该模型在美国及其他国家也得到了广泛的应用,其中土地利用数据是由遥感影像解译得到的。

SCS 模型的基本原理公式如下<sup>[12]</sup>:

$$\begin{cases} Q = \frac{(P - 0.25)^2}{P + 0.85} & P \geq 0.2S \\ Q = 0 & P < 0.2S \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $P$  为一次降雨的总量(mm);  $Q$  为径流深度(mm);  $S$  为流域当时的可能最大滞留量(mm)。因  $S$  的变化范围很大不利于取值,引入

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

其中  $CN$  是反映降雨前流域特征的一个无量纲的参数,用于描述降雨-径流的关系,并与流域前期土壤湿润程度(Antecedent moisture condition,简称 AMC)、土壤类型、坡度、土地利用类型等因素有关。在降雨量一定时,由于土壤属性较为稳定,土地利用的变化将引起  $CN$  值的变化,因此可以通过分析  $CN$  值来反映土地利用动态变化对径流的影响。一般情况下,  $CN$  值越大则表示该区域的产流能力越强。在 SCS 模型中,根据前 5 天的总雨量将土壤湿润程度分为干(AMCI)、正常(AMCII),湿润(AMCIII)三种级别<sup>[13]</sup>。

### 3 SCS 模型在西安市主城区的应用

#### 3.1 $CN$ 值的确定

由 SCS 模型的含义可知,  $CN$  值由前期土壤湿润程度、土壤类型、土地利用类型等下垫面因素综合决定,土地利用数据采用前文遥感影像解译的数据,因土壤属性比较稳定,本文采用前文所分类的土壤类型结果。根据 SCS 模型的  $CN$  值查算表<sup>[14]</sup>,参考国内外研究者在 SCS 模型中确定的  $CN$  值<sup>[15,16]</sup>,并结合西安市土地利用类型,土壤类型分类结果,确定了西安市在正常状态下(AMCII)的  $CN$  值表。而对于不同前期土壤湿润程度 AMCI、AMCIII 的  $CN$  值,由如下公式可得:

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (3)$$

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10 + 0.13CN_{II}} \quad (4)$$

由式(3)、式(4)可知,  $CN_I < CN_{II} < CN_{III}$ ,说明不同的前期土壤湿润程度影响着  $CN$  的值,进而将影响研究区域的径流量。

在 ARCGIS 软件中,将各个时期土地利用类型图与土壤分类图相叠加<sup>[17]</sup>,得到了含有土地利用类型和水文土壤类型的双重信息图。本文主要研究土

地利用变化对径流的影响,因此假设西安市前期土壤湿润程度为正常状态(AMCII)。

表 2 西安市 SCS 模型  $CN$  值(AMCII)

Tab. 2 SCS model  $CN$  value of Xi'an (AMCII)

土地利用	CN 的土壤水文分类			
	A	B	C	D
林地	25	55	70	77
城镇建设用地	81	87	91	94
耕地	67	78	85	89
水域	98	100	100	100
园地	40	62	76	82
未利用地	72	82	88	99

注:A、B、C、D 为土壤类型,与表 1 所指含义相同。

按照西安市  $CN$  值表进行赋值,可得到研究区域各个时期的  $CN$  值分布图。由图可知,颜色较深的区域表示  $CN$  值较高的地区,该地区的可能最大滞留量较小,产流能力较强,空间上主要集中于河域,城镇建设用地;颜色较浅区域表示  $CN$  值低的地区,其产流能力较弱,主要集中于园地,林地等;随着时间的变化其产流能力较强的区域逐渐扩大,产流能力较弱的区域日益缩小;在空间上,  $CN$  值的分布因土地利用类型的变化也在发生变化,进而将影响径流。

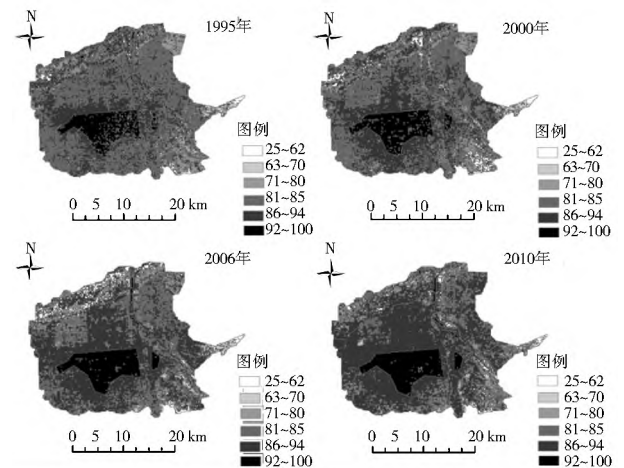


图 2 1995、2000、2006、2010 年西安市主城区  $CN$  值分布图

Fig. 2 Distribution of  $CN$  value in the main city of Xi'an in 1995, 2000, 2006, 2010

#### 3.2 土地利用动态变化

本文假设西安市主城区前期土壤湿润程度为平均(AMCII),以此研究土地利用变化对径流过程的影响。在 ARCGIS 软件中对西安市主城区 1995、2000、2006、2010 年四期土地利用类型图进行矢量叠加,获得土地利用变化数据,得到研究区的 3 个时段的土地利用转换矩阵,以此分析在各

个时段各种土地利用类型之间的转换关系。其中, 2006 年、2006 年- 2010 年西安市主城区土地利用表 3 至表 5 分别表示 1995 年- 2000 年、2000 年- 转移矩阵。

表 3 1995 年- 2000 年西安市主城区土地利用转移矩阵

Tab. 3 Land use transfer matrix in the main city of Xi'an from 1995 to 2000

km<sup>2</sup>

1995 年土地利用类型	2000 年						
	城市建设用地	耕地	林地	水域	未利用地	园地	总计
城市建设用地	333.4798	55.7817	9.1796	9.4221	1.6518	39.2614	448.7764
耕地	91.6171	135.1041	10.9933	7.609	0.5585	5.0088	250.8908
林地	13.3038	5.1171	17.1595	0.9473	0.0223	1.2411	37.7911
水域	28.1284	5.7418	0.2629	5.754	1.3597	1.0385	42.2853
未利用地	17.5801	1.2819	0.1361	1.1641	1.4709	1.0223	22.6554
园地	12.1441	3.6245	1.7407	0.6158	0.1371	9.1019	27.3641
总计	496.2533	206.6511	39.4721	25.5123	5.2003	56.674	

表 4 2000- 2006 年西安市主城区土地利用转移矩阵

Tab. 4 Land use transfer matrix in the main city of Xi'an from 2000 to 2006

km<sup>2</sup>

1995 年土地利用类型	2000 年						
	城市建设用地	耕地	林地	水域	未利用地	园地	总计
城镇建设用地	400.9899	54.2947	9.2125	3.8643	2.488	25.4007	496.2501
耕地	96.274	80.5984	3.9646	1.4358	0.7063	23.6376	206.6167
林地	10.676	8.6911	18.9764	0.1332	0.0248	0.9434	39.4449
水域	12.8232	5.6789	1.2307	2.6808	0.4108	2.6976	25.522
未利用地	3.1847	0.1159	0	1.5154	0.1561	0.2279	5.2
园地	26.4904	18.8897	0.9491	0.477	0.2888	9.5841	56.6791
总计	550.4382	168.2687	34.3333	10.1065	4.0748	62.4913	

表 5 2006- 2010 年西安市土地利用转移矩阵

Tab. 5 Land use transfer matrix in the main city of Xi'an from 2006 to 2010

km<sup>2</sup>

1995 年土地利用类型	2000 年						
	城市建设用地	耕地	林地	水域	未利用地	园地	总计
城镇建设用地	488.8491	37.6958	1.3558	1.9878	0.1821	20.3517	550.4223
耕地	95.956	34.6035	3.4035	0.1763	0.6196	33.5031	168.262
林地	3.9327	4.8461	17.8958	0.0073	0.0169	7.6372	34.336
水域	3.3085	0.583	0.0539	5.7818	0.1377	0.2453	10.1102
未利用地	3.2841	0.3802	0.0023	0.1167	0.1354	0.1543	4.073
园地	35.4064	15.1426	1.4244	0.3917	1.5956	8.5268	62.4875
总计	630.7368	93.2512	24.1357	8.4616	2.6873	70.4184	

通过分析各个时段的土地利用类型转移矩阵可以得出如下结果。

(1) 在 1995 年- 2000 年的土地利用转移矩阵中, 城镇建设用地增长了 47.47 km<sup>2</sup>, 其占有面积由 54% 增长到 60%, 而耕地、未利用地所占面积都有所减少, 其中耕地面积由 30% 减少到 25%, 未利用地面积由 2.7% 减少到 0.6%, 其大部分面积转变为产流能力较强、滞留量较小的城镇建设用地, 所转变的耕地面积中有 79% 转为城镇建设用地, 未利用地

有 83% 转变为城镇建设用地; 水域面积亦有所下降, 由 42.3 km<sup>2</sup> 下降到 25.5 km<sup>2</sup>, 多转为产流能力比其低的其他土地利用类型; 产流能力较低的园地的土地利用类型面积有所增加, 而林地面积变化较小。土地利用类型变化的整体效应使得西安市主城区在 1995 年- 2000 年地表平均径流深有所增加, 但增加幅度较小。

(2) 在 2000 年- 2006 年时间段的土地利用转移矩阵中, 城镇建设用地面积增长了 54.19 km<sup>2</sup>, 耕地面

积减少 38 35km<sup>2</sup>, 其占有面积由 25% 减少到 20%, 减少速度与 1995 年- 2000 年大致相同, 水域面积都持续下降, 产流能力较低的园地面积持续增加, 最终致使径流深度依然增加, 但增加幅度变化不大。

(3) 2006 年- 2010 年城镇建设用地面积增加到 626 7 km<sup>2</sup>, 增长了 80 3 km<sup>2</sup>, 所占比重达 76%, 耕地面积所占比重由 20% 减少到 11%, 产流能力较低的林地所占比重由 4 1% 减少到 2 9%, 且林地转变为产流能力强的其他类型用地, 相对于其他时间段, 该时间段产流能力较大的水域用地变化较小, 综合作用使得 2006 年- 2010 年的径流深增加且变化幅度较大。

(4) 1995 年- 2010 年, 城镇建设用地大幅度增加, 其占有面积由 54% 增长到 76%, 耕地占有面积由 30% 减少到 11%, 林地占有面积由 4 5% 减少到 2 9%, 水域面积由 42. 28 km<sup>2</sup> 减少到 8. 46 km<sup>2</sup>, 由 5% 减少到 1%, 未利用地占有面积由 2. 7% 减少到 0 3%, 园地面积由 3% 增长到 8%, 产流能力较强的城镇建设用地面积增长幅度与水域面积减少幅度相比较, 所以综合作用使 2010 年的径流比 1995 年径流有所增长。

综上所述, 随着城市化的发展, 人类活动的加剧, 西安市主城区土地利用/ 覆被结构发生巨大变化, 导致径流量增大; 在不同的城市化阶段中, 所引起土地利用/ 覆被的变化对地表径流过程影响亦有所不同。

### 3.3 西安市主城区径流变化

#### 3.3.1 模型参数验证

选择研究区内唯一具有长期水文资料的灞河流域对模型进行参数验证<sup>[18]</sup>。该流域穿过研究区内的灞桥区、未央区, 在高陵县汇入渭河, 并有马渡王水文站进行实测径流, 该站上游集水面积达 1 601 km<sup>2</sup>, 基于上述数据获取方式得到灞河流域的土壤分类图、土地利用分类图以及 1995 年月降水量, 输入上文确定的 CN 值和 SCS 模型模拟出的灞河流

域 1995 年月径流量, 并与实测径流量进行比较( 图 3)。一般认为 SCS 模型进行径流模拟时, 计算的径流量与实测径流量在 15% 之内为合格, 反之不合格<sup>[19]</sup>, 结果有 9 场相对误差在 15% 之内。选用线性回归系数和纳西效率系数评价模型适应性, 经计算模拟值和实测值的相关系数为 0. 9, 纳西效率系数为 0. 86, 表明模型在研究区具有较好的适应性<sup>[20]</sup>。

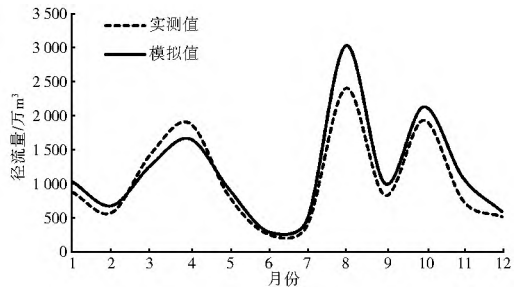


图 3 灞河流域基于 SCS 模型模拟的径流过程与实测径流过程

Fig. 3 Comparison between SCS model simulated and measured runoff process in Bahe River

#### 3.3.2 模型应用

在西安市主城区运用 SCS 模型进行降雨径流模拟, 由于径流受到降雨量和土壤类型, 土地利用面积, 前期土壤湿润程度等下垫面因素的影响, 在本文研究中我们分别对不同时期, 不同前期土壤湿润程度及不同频率年的年径流量进行模拟, 以此分析对于不同降雨强度, 在不同下垫面条件下年径流量的变化。

根据 1980 年- 2010 年西安市主城区的年降雨量, 使用水文频率曲线适线法得到西安市主城区年降雨量理论频率曲线, 选取 669. 9 mm (15%)、526. 58 mm (50%)、379. 76 mm (90%) 为丰水年、平水年、枯水年。在此基础上对 1995 年、2000 年、2006 年、2010 年西安市主城区 4 种不同下垫面情况下 3 种不同前期土壤湿润程度的径流进行模拟分析。不同情况下的年径流量可得到表 6。

表 6 西安市主城区径流量

Tab. 6 The run off in the main city of Xi'an

万 m<sup>3</sup>

年份	AMCI			AMCII			AMCIII		
	15%	50%	90%	15%	50%	90%	15%	50%	90%
1995	45 685. 79	34 487. 66	23 198. 8	50 112. 79	38 647. 33	26 958. 4	52 238. 11	40 696. 02	28 888. 83
2000	45 756. 49	34 530. 43	23 214. 84	50 213. 03	38 723. 54	27 007. 41	52 328. 93	40 771. 33	28 945. 57
2006	45 840. 43	34 600. 9	23 266. 84	50 266. 67	38 772. 51	27 049. 47	52 358. 14	40 798. 99	28 970. 95
2010	46 364. 35	35 080. 73	23 681. 52	50 538. 3	39 032. 33	27 290. 15	52 488. 07	40 926. 37	29 093. 77

根据表 6 分析可得如下结果。

(1) 在相同前期土壤湿润程度下, 各种频率下的年径流量随着时间的推移有着增大的趋势。因为随

着时间的变化, 西安市主城区的土地利用格局发生了巨大的变化, 土地利用结构的变化影响着水文效应上的区域产流能力的变化, 表现出在相同降雨条

件下径流量的增加。

(2) 在相同时期, 相同前期湿润程度情况下, 径流量随着降雨量的增大而增大, 呈现在同样下垫面条件下降雨量越大, 径流越大的规律。

(3) 相同时期、相同降雨量的情况下, 不同前期土壤湿润程度情况下的年径流量的变化趋势为:  $AMCII > AMCIII > AMCI$ 。表明在相同土壤类型、相同土地利用方式下, 土壤越湿, 即土壤湿度趋于饱和状态, 对降雨的下渗能力越小, 则产生的径流越大。

(4) 在同一前期土壤湿润程度 ( $AMCIII$ ) 情况下, 年径流量随时间变化量为丰水年 (15%) > 平水年 (50%) > 枯水年 (90%), 但其相对变化量为枯水年 (90%) > 平水年 (50%) > 丰水年 (15%), 枯水年的相对量的变化较大。表明枯水年的径流过程受下垫面条件的影响更大, 而丰水年的绝对变化量较大, 表明其径流过程受降雨量的影响更大, 因其较大的降雨量弱化了下垫面条件对径流的影响; 对于平水年, 其径流量的绝对变化量、相对变化量均居中, 表明下垫面条件与降雨对其均有影响。

## 4 结论

(1) 西安市主城区的  $CN$  值与前期土壤湿润程度, 土壤属性及土地利用情况均有关, 且高值区多分布于产流能力较强的水域及城镇建设用地区域, 而低值区集中分布于林地、园地等产流能力较弱的地区。1995年-2010年期间,  $CN$  值较高的区域逐渐扩大,  $CN$  值较低的区域日益缩小, 同时将影响西安市主城区降雨-径流过程。

(2) 研究时段内, 西安市主城区产流能力较强的城镇建设用地区域面积大幅度增加, 而耕地、林地面积有所降低, 产流能力最强的水体面积有所减少, 而产流能力较低的园地面积有所增加, 土地利用类型变化的综合作用使得西安市主城区的径流量增加。

(3) SCS 模型模拟结果显示, 在相同前期土壤湿润程度的情况下, 同一时期的径流量随着降雨量的增大而增大; 在相同前期土壤湿润程度、同一降雨量的情况下, 随着城市化进程的快速发展, 径流量逐渐增大; 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为  $AMCIII > AMCII > AMCI$ , 前期土壤湿润程度越干, 降雨量下渗越多, 径流量越小。

需要说明的是, SCS 模型参数是根据美国的情况所确定的, 而本文的土壤类型、 $CN$  值等参数的确定来自  $CN$  值综合查算表和其他研究者所用 SCS 模型确定的参数, 因此 SCS 模型参数的确定需进一步精确。此外, 本文中的 1995 年-2010 年土地利用类型

数据, 来自 TM 遥感影像的解译, 因为历史资料的限制及时间跨度较大, 在遥感解译时存在一些偏差, 因此在以后的研究中解译精度需进一步提高。

## 参考文献 (References):

- [1] 周维博, 董艳慧, 董起广, 等. 大西安城市建设引起的水循环变化规律研究 [R]. 西安: 长安大学, 2014. (ZHOU Weibo, DONG Yanhui, DONG Qiguang, et al. Xi'an urban construction caused by water cycle change law research [R]. Xi'an: Chang'an University, 2014. (in Chinese))
- [2] 史晓亮, 李颖, 赵凯, 等. 诺敏河流域土地利用与覆被变化及其对水文过程的影响 [J]. 水土保持通报. 2013, 33(1): 23-28. (SHI Xiaoliang, LI Ying, ZHAO Kai, et al. Land use/cover change and its effects on hydrologic processes in Nuomin River basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation. 2013, 23(1): 23-28. (in Chinese))
- [3] Maidment D.R. Handbook of hydrology [M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1992.
- [4] 张秀英, 孟飞, 丁宁. SCS 模型在干旱半干旱区小流域径流估算中的应用 [J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 172-174, 249. (ZHANG Xiuying, MENG Fei, DING Ning. Application of SCS model to estimating the quantity of runoff of small watershed in semi-arid or arid region [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003, 10(4): 172-174, 249. (in Chinese))
- [5] 魏文秋, 谢淑琴. 遥感资料在 SCS 模型产流计算中的应用 [J]. 环境遥感, 1992, 7(4): 243-250. (WEI Wenqiu, XIE Shuqin. The application of remote sensing in runoff formation in SCS model [J]. Remote Sensing of Environment China, 1992, 7(4): 243-250. (in Chinese))
- [6] 穆宏强. SCS 模型在石桥铺流域的应用研究 [J]. 水利学报, 1992(10): 79-83, 89. (MU Hongqiang. Application of SCS runoff procedure in Shiqiaopu watershed [J]. Journal of Hydraulic Engineering. 1992(10): 79-83, 89. (in Chinese))
- [7] 袁艺, 史培军. 土地利用对流域降雨径流关系的影响—以 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, 37(1): 131-136. (YUAN Yi, SHI Peijun. Effect of land use on the rainfall runoff relationship basin—SCS model applied in Shenzhen city [J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science. 2001, 37(1): 131-136. (in Chinese))
- [8] 刘贤赵, 康邵忠, 刘德林, 等. 基于地理信息的 SCS 模型及其在黄土高原小流域降雨—径流关系中的应用 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 93-97. (LIU Xianzhao, KANG Shaoshong, LIU Delin, et al. SCS model based on geographic information and its application to simulate rainfall runoff relationship at typical small watershed level in Loess Plateau [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5): 93-97. (in Chinese))
- [9] 李常斌, 秦将为, 李金标. 计算  $CN$  值及其在黄土高原典型流域降雨—径流模拟中的应用 [J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(8): 67-70. (LI Changbin, QIN Jiangwei, LI Jinbiao. Application of computational curve number to precipitation runoff simulation in a typical watershed in Chinese Loess Plateau [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment. 2008, 22(8): 67-70. (in Chinese))

(下转第 90 页)

件下径流量的增加。

(2) 在相同时期, 相同前期湿润程度情况下, 径流量随着降雨量的增大而增大, 呈现在同样下垫面条件下降雨量越大, 径流越大的规律。

(3) 相同时期、相同降雨量的情况下, 不同前期土壤湿润程度情况下的年径流量的变化趋势为:  $AMCII > AMCIII > AMCI$ 。表明在相同土壤类型、相同土地利用方式下, 土壤越湿, 即土壤湿度趋于饱和状态, 对降雨的下渗能力越小, 则产生的径流越大。

(4) 在同一前期土壤湿润程度 ( $AMCIII$ ) 情况下, 年径流量随时间变化量为丰水年 (15%) > 平水年 (50%) > 枯水年 (90%), 但其相对变化量为枯水年 (90%) > 平水年 (50%) > 丰水年 (15%), 枯水年的相对量的变化较大。表明枯水年的径流过程受下垫面条件的影响更大, 而丰水年的绝对变化量较大, 表明其径流过程受降雨量的影响更大, 因其较大的降雨量弱化了下垫面条件对径流的影响; 对于平水年, 其径流量的绝对变化量、相对变化量均居中, 表明下垫面条件与降雨对其均有影响。

## 4 结论

(1) 西安市主城区的  $CN$  值与前期土壤湿润程度, 土壤属性及土地利用情况均有关, 且高值区多分布于产流能力较强的水域及城镇建设用地区域, 而低值区集中分布于林地、园地等产流能力较弱的地区。1995年—2010年期间,  $CN$  值较高的区域逐渐扩大,  $CN$  值较低的区域日益缩小, 同时将影响西安市主城区降雨-径流过程。

(2) 研究时段内, 西安市主城区产流能力较强的城镇建设用地区域面积大幅度增加, 而耕地、林地面积有所降低, 产流能力最强的水体面积有所减少, 而产流能力较低的园地面积有所增加, 土地利用类型变化的综合作用使得西安市主城区的径流量增加。

(3) SCS 模型模拟结果显示, 在相同前期土壤湿润程度的情况下, 同一时期的径流量随着降雨量的增大而增大; 在相同前期土壤湿润程度、同一降雨量的情况下, 随着城市化进程的快速发展, 径流量逐渐增大; 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为  $AMCIII > AMCII > AMCI$ , 前期土壤湿润程度越干, 降雨量下渗越多, 径流量越小。

需要说明的是, SCS 模型参数是根据美国的情况所确定的, 而本文的土壤类型、 $CN$  值等参数的确定来自  $CN$  值综合查算表和其他研究者所用 SCS 模型确定的参数, 因此 SCS 模型参数的确定需进一步精确。此外, 本文中的 1995 年—2010 年土地利用类型

数据, 来自 TM 遥感影像的解译, 因为历史资料的限制及时间跨度较大, 在遥感解译时存在一些偏差, 因此在以后的研究中解译精度需进一步提高。

## 参考文献 (References):

- [1] 周维博, 董艳慧, 董起广, 等. 大西安城市建设引起的水循环变化规律研究 [R]. 西安: 长安大学, 2014. (ZHOU Weibo, DONG Yanhui, DONG Qiguang, et al. Xi'an urban construction caused by water cycle change law research [R]. Xi'an: Chang'an University, 2014. (in Chinese))
- [2] 史晓亮, 李颖, 赵凯, 等. 诺敏河流域土地利用与覆被变化及其对水文过程的影响 [J]. 水土保持通报. 2013, 33(1): 23-28. (SHI Xiaoliang, LI Ying, ZHAO Kai, et al. Land use/cover change and its effects on hydrologic processes in Nuomin River basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation. 2013, 23(1): 23-28. (in Chinese))
- [3] Maidment D.R. Handbook of hydrology [M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1992.
- [4] 张秀英, 孟飞, 丁宁. SCS 模型在干旱半干旱区小流域径流估算中的应用 [J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 172-174, 249. (ZHANG Xiuying, MENG Fei, DING Ning. Application of SCS model to estimating the quantity of runoff of small watershed in semi-arid or arid region [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003, 10(4): 172-174, 249. (in Chinese))
- [5] 魏文秋, 谢淑琴. 遥感资料在 SCS 模型产流计算中的应用 [J]. 环境遥感, 1992, 7(4): 243-250. (WEI Wenqiu, XIE Shuqin. The application of remote sensing in runoff formation in SCS model [J]. Remote Sensing of Environment China, 1992, 7(4): 243-250. (in Chinese))
- [6] 穆宏强. SCS 模型在石桥铺流域的应用研究 [J]. 水利学报, 1992(10): 79-83, 89. (MU Hongqiang. Application of SCS runoff procedure in Shiqiaopu watershed [J]. Journal of Hydraulic Engineering. 1992(10): 79-83, 89. (in Chinese))
- [7] 袁艺, 史培军. 土地利用对流域降雨径流关系的影响—以 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, 37(1): 131-136. (YUAN Yi, SHI Peijun. Effect of land use on the rainfall runoff relationship basin—SCS model applied in Shenzhen city [J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science. 2001, 37(1): 131-136. (in Chinese))
- [8] 刘贤赵, 康邵忠, 刘德林, 等. 基于地理信息的 SCS 模型及其在黄土高原小流域降雨—径流关系中的应用 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 93-97. (LIU Xianzhao, KANG Shaoshong, LIU Delin, et al. SCS model based on geographic information and its application to simulate rainfall runoff relationship at typical small watershed level in Loess Plateau [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5): 93-97. (in Chinese))
- [9] 李常斌, 秦将为, 李金标. 计算  $CN$  值及其在黄土高原典型流域降雨—径流模拟中的应用 [J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(8): 67-70. (LI Changbin, QIN Jiangwei, LI Jinbiao. Application of computational curve number to precipitation runoff simulation in a typical watershed in Chinese loess plateau [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment. 2008, 22(8): 67-70. (in Chinese))

(下转第 90 页)