

曲线数值法 (SCS 模型) 在北京温榆河流域 降雨—径流关系中的应用研究

周翠宁^{1, 2}, 任树梅^{1*}, 闫美俊¹

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 黑龙江省水文局, 哈尔滨 150001)

摘要: 为研究北京城市化进程中降雨—径流关系变化, 在温榆河流域应用 SCS 模型, 对该流域部分实测次降雨—径流过程及不同频率年降雨—径流进行模拟, 得出 SCS 模型在温榆河流域预测径流是可行的, 无论哪种前期土壤湿润条件, 不同频率降雨的年径流量随着时间的推移有增大的趋势, 相同前期土壤湿润情况下年径流量绝对增量顺序为, 丰水年>平水年>枯水年, 而相对增量是枯水年>平水年>丰水年。相同前期土壤湿润程度及相同频率降雨条件下, 城市化水平越高, 径流量越大。

关键词: SCS 模型; 温榆河流域; 降雨—径流关系

中图分类号: TV121.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-3-0087-04

周翠宁, 任树梅, 闫美俊. 曲线数值法 (SCS模型) 在北京温榆河流域降雨—径流关系中的应用研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 87—90.

Zhou Cuining, Ren Shumei, Yan Meijun. Application of SCS model to simulate rainfall-runoff relationship in Wenyu river basin in Beijing [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3): 87—90. (in Chinese with English abstract)

0 引言

SCS 模型^[1-5] 又称曲线数值法 (curve number method), 是美国农业部水土保持局 (Soil Conservation Service, SCS) 于 1954 年开发研制的流域水文模型。由于其简单易行, 所需参数较少, 对观测数据的要求并不很严格等特点, 而被广泛应用。中国水文学专家学者也对该模型进行了大量的研究, 如史培军^[6, 7]等采用 SCS 模型对深圳市降雨径流过程进行模拟, 分析了不同土地利用方式对城市径流的影响。张维江等^[8, 9]的研究表明, 应用该模型推求宁夏地区地表径流, 具有较高的精度。秦莉俐^[10]等分析了城市化对浙江临安径流的长期影响, 表明城镇用地区产生的径流量要大于非城镇用地区。王白陆^[11]、彭立志^[12]分别将 SCS 模型进行了改进, 并将改进后的模型用于陕北神木县孟家沟集水区及汉江牧马河流域, 结果表明改进后的模型计算精度得到了明显的提高。北京在城市化进程中土地利用方式发生了巨大的改变, 并影响降雨—径流关系, 借鉴国内外经验及研究成果, 本文将 SCS 模型应用于北京市温榆河流域, 寻求其城市化发展过程中径流的变化规律, 为北京水资源的优化配

置提供参考依据。

1 SCS 模型基本原理

SCS 模型综合考虑了流域降雨、土壤类型、土地利用方式、前期土壤湿润状况与径流的关系。该模型是在以下两个假定基础上建立的:

1) 由于实际径流量 (Q) 与最大可能径流量 (P_e) 相关, 所以实际滞留量 (F) 与最大可能滞留量 (S) 也相关。

2) 初始滞留量 (I_a) 约等于最大可能滞留量的 20%。

上述假设条件可用下列公式表述:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P_e}, \quad I_a = 0.2S$$

式中 F ——实际滞留量, mm; S ——最大可能带留量, mm; Q ——实际径流量, mm; P_e ——最大可能径流量, mm; I_a ——初始滞留量, mm。

将 $F = P_e - Q$, $P_e = P - I_a$ 代入上式可得:

$$Q = \begin{cases} \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \text{ 或 } \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}, & P \geq 0.2S \\ 0, & P < 0.2S \end{cases}$$

式中 P ——降雨量, mm; CN ——径流曲线数或水文土被复合数, 是与土壤类型和土地利用方式密切相关的一种无量纲径流系数, $S = \frac{25400}{CN} - 254$ 。

以上可以看出, 径流量取决于土壤类型、土地利用

收稿日期: 2007-04-23 修订日期: 2007-09-29

基金项目: “863” 重大专项 “北方半干旱都市绿地灌溉区节水综合技术体系集成与示范” (2002AA2Z4281-06)

作者简介: 周翠宁 (1976—), 女, 黑龙江人, 工程师。哈尔滨 黑龙江省水文局, 150001。Email: zhen0324@163.com

*通讯作者: 任树梅, 女, 教授。北京市海淀区清华东路 17 号 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083

方式及降雨前的土壤湿润状况。欲求径流量, 只需知道参数 CN , CN 是一个反映降雨前流域特征的无量纲综合参数, 根据 SCS 模型的 CN 值表, 结合研究区土地利用和土壤分类情况, 参考国内其他研究成果, 可确定研究区的 CN 值。

2 研究区概况

温榆河位于北京城市边缘地带, 是北京外环水系的重要河流, 属北运河水系。发源于北京市的北部山区, 流经昌平、海淀、顺义、朝阳和通州五区, 全长约 47.5 km, 流域面积 2478 km²。

本文土地利用分类是采用何春阳^[13]等根据季相一致的北京市 1976~1997 年长时间序列高分辨率 Landsat TM/MSS 数据为基本信息源得到的土地利用分类结果。依据 SCS 模型的需要并参考国内其他研究成果将温榆河流域土地利用类型划分为: 高密度城市用地, 中低密度城市用地、水体 (包括养鱼坑塘)、耕地 (包括水浇地、旱地和水田)、园地、灌草地、林地, 共 7 大类。

3 模型应用

3.1 温榆河流域 CN 值的确定

CN 值在 SCS 模型中反映了流域下垫面的产流能力, 与土地利用类型、土壤类型及前期土壤湿润程度密切相关。

温榆河流域土地利用情况参照何春阳等^[13]研究成果; 土壤类型按照 SCS 模型特有的土壤分类方法, 温榆河流域土壤类型以砂壤土为主, 属于 B 类。因土壤属性比较稳定, 计算时将土壤分类结果视为不变值; 前期土壤湿润程度 (antecedent moisture condition, AMC) 根据前 5 d 的总降雨量将其划分为 3 类, 分别代表干、平均、湿 3 种状态 (AMCI、AMCII、AMCIII), 不同湿润状况的 CN 值有相互转换关系, 本文根据 SCS 模型提供的 CN 值查算表^[1], 结合国内专家学者研究成果, 充分考虑温榆河流域的自然地理条件, 确定温榆河流域 CN 值矩阵, 如表 1。

表 1 中等湿润程度 (AMCII) 温榆河流域 CN 值表

Table 1 Values of CN at the medium level of soil moisture in Wenyu river basin

土地利用方式	A	B	C	D
高密度城市用地	77	85	90	92
中低密度城市用地	49	69	79	84
水体	98	98	98	98
耕地	72	81	88	91
果园	32	57	72	79
灌草地	39	61	74	80
林地	30	55	70	77

注: A、B、C、D 为水文土壤类型。A 类为潜在径流量很低的土壤, 主要是具有良好排水性的砂土或砾石土; B 类土壤主要是一些砂壤土; C 类与 B 类基本相似, 为轻、中壤土; D 类为潜在径流量很高的土壤, 主要是具有高膨胀性的黏土和重黏土。

由不同湿润状况的 CN 值转换关系, 将前期土壤湿润程度 II 下的 CN 值分别转化为 AMCII(干)和 AMCIII(湿)下的 CN 值。

根据 1975~1997 年温榆河流域土地利用/覆盖变化情况, 不同湿润条件下 CN 值, 计算得到温榆河流域 1974、1984、1991 及 1997 年 3 种不同的 CN 值, 如表 2。

表 2 温榆河流域不同时期不同湿润状况下 CN 值
Table 2 Values of CN in different periods with different soil moisture in Wenyu river basin

年份	B(AMCI)	B(AMCII)	B(AMCIII)
1974	57.777	75.373	86.648
1985	58.637	76.080	87.216
1991	59.066	76.351	87.376
1997	59.409	76.516	87.418

由表 2 可以看出, 不同时期相同土壤湿润程度下, 随着城市化水平的提高, 温榆河流域 CN 值增大, 说明随着时间的推移, 人类活动改造地表程度的不断加深, 土地利用状况不断发生变化, 与之相应的 CN 值也发生变化; 同一时期, 前期土壤由干到湿发展 (AMCI—AMCII—AMCIII), CN 值增大。

3.2 实测降雨推求径流

根据温榆河流域 1970~1996 年部分次降雨的实测降雨—径流及前期降雨等资料^[14,15], 利用 SCS 模型, 结合不同时期不同前期土壤湿润情况下温榆河流域 CN 值, 计算径流量, 在所选的 36 次降雨—径流实测资料中, 采用 SCS 模型对径流进行模拟, 发现共有 23 场次降雨的计算径流量小于实测径流量, 占 64%, 分析认为这主要是由于中国气候等下垫面条件与美国不同造成的, 北京地区气候表现在降雨季节变化大, 而且主要集中在 7~9 月份, 下渗水量较少, 而美国的降水量年内分配比较均匀, 平均有 70% 以上的降水量下渗进入土壤, 这些差异导致在温榆河流域应用美国水土保持局的 SCS 模型时, 计算的前期损失量偏大, 从而径流量偏小, 绝对误差出现负数的机会增加。

一般认为, 应用 SCS 模型进行径流模拟时, 计算径流量与实测径流量的相对误差在 15% 以内为合格, 反之为不合格^[16]。按此标准, 所选的次降雨—径流实测资料经 SCS 模型模拟达到标准的比例为 86.111%, 没有达到标准的比例为 13.889%。因此, SCS 模型在温榆河流域预测径流是可行的。

3.3 不同水平年雨量推求年径流

根据温榆河流域 1956~2002 年 47 a 流域平均年降雨数据, 得出该流域年降雨量理论频率曲线, 选用不同频率的年降雨量 (分别计算降雨频率 1%~99% 情况下的径流), 应用 SCS 模型对温榆河流域的年径流进行模拟, 计算时按 1975、1984、1991、1997 年 3 种不同前期土壤湿

润状况分别进行, 计算部分成果见表3, 可以看出:

1) 土地利用方式对径流量影响。无论哪种前期土壤湿润条件, 年径流量随着时间的推移有增大的趋势。1975~1997年随着温榆河流域城市化发展, 土地利用结构发生变化, 这种变化对生态环境影响表现在水文效应上就是产流能力加强。相同前期土壤湿润条件下, 相同频率降雨产流量表现为, 1997年>1991年>1987年>1975年, 说明随着城市化水平的提高, 相同降雨情况下, 产流量增加, 即城市化使径流增大。

2) 不同频率降雨对径流量影响。从年径流量随时间的绝对增量上来看, 相同前期土壤湿润情况下, 丰水年(1%~40%)>平水年(50%)>枯水年(60%~99%), 而相对增量是枯水年(60%~99%)>平水年(50%)>丰水年(1%~40%)。分析认为, 枯水年由于水量基数较小, 增幅的绝对量虽小, 但枯水年的降雨-径流关系受下垫面影响大, 因此它的相对增量反而最大, 而丰水年由于水量基数大, 绝对增加量就大一些, 但由于雨量大, 降雨-径流受降雨量影响更大, 使不同下垫面的影响趋于

均一化, 因此丰水年径流量的相对增量反而最小, 而平水年径流绝对、相对变量均居中, 可能是由于降雨和下垫面对径流的影响均衡所致。

3) 前期土壤湿润程度对径流量的影响。相同频率降雨情况下, 径流量由大到小排列顺序均为 AMCIII>AMCII>AMCI, 说明降雨频率相同的情况下, 前期土壤越湿润, 径流量越大, 但丰水年, 由于径流量主要取决于降雨量, 3种前期土壤湿润程度, 径流量表现为趋同, 差异并不明显。

4) 径流系数变化。相同时期, 径流系数由大到小排列为: AMCIII>AMCII>AMCI, 说明前期土壤越湿, 径流系数越大, 相同频率降雨时, 径流量越大; 而相同前期土壤湿润情况下, 径流系数由大到小排列为: 1997年>1991年>1984年>1975年, 说明相同前期土壤湿润条件下, 城市化水平越高, 径流系数越大, 相同频率降雨时, 径流量越大。水量丰沛时, 不同前期土壤湿润状况和不同城市化水平对径流的影响均较弱。

表3 不同前期土壤湿润条件下年径流量计算值

Table 3 Calculated values of annual runoff under different antecedent moisture condition

降雨频率/%	年降雨量/mm	AMCI								AMCII								AMCIII							
		1975		1984		1991		1997		1975		1984		1991		1997		1975		1984		1991		1997	
		年径流量/mm	径流系数	年径流量/mm	径流系数	年径流量/mm	径流系数	年径流量/mm	径流系数	年径流量/mm	径流系数	年径流量/mm	径流系数	年径流量/mm	径流系数	年径流量/mm	径流系数	年径流量/mm	径流系数	年径流量/mm	径流系数	年径流量/mm	径流系数	年径流量/mm	径流系数
1	1195	997.90	0.84	1003.98	0.84	1006.96	0.84	1009.32	0.84	1100.87	0.92	1104.24	0.92	1105.51	0.93	1106.28	0.93	1149.28	0.96	1151.45	0.96	1152.06	0.96	1152.22	0.96
10	870	681.09	0.78	686.67	0.79	689.42	0.79	691.60	0.79	777.77	0.89	781.00	0.90	782.22	0.90	782.97	0.90	824.73	0.95	826.86	0.95	827.46	0.95	827.62	0.95
20	760	575.18	0.76	580.53	0.76	583.17	0.77	585.25	0.77	668.75	0.88	671.91	0.88	673.11	0.89	673.84	0.89	714.97	0.94	717.08	0.94	717.67	0.94	717.82	0.94
50	570	395.21	0.69	400.00	0.70	402.36	0.71	404.23	0.71	481.23	0.84	484.23	0.85	485.37	0.85	486.06	0.85	525.58	0.92	527.63	0.93	528.21	0.93	528.36	0.93
70	470	302.96	0.64	307.34	0.65	309.50	0.66	311.21	0.66	383.25	0.82	386.12	0.82	387.20	0.82	387.87	0.83	426.09	0.91	428.10	0.91	428.66	0.91	428.81	0.91
90	370	213.71	0.58	217.53	0.59	219.43	0.59	220.93	0.60	286.19	0.77	288.87	0.78	289.89	0.78	290.51	0.79	326.85	0.88	328.79	0.89	329.33	0.89	329.48	0.89
99	250	113.72	0.45	116.61	0.47	118.05	0.47	119.20	0.48	172.18	0.69	174.49	0.70	175.37	0.70	175.91	0.70	208.48	0.83	210.28	0.84	210.78	0.84	210.92	0.84

4 结论

文中通过在温榆河流域应用 SCS 模型, 分析不同土地利用状况下, 不同频率年雨量的产流规律, 取得了一些初步成果。研究表明, 应用 SCS 模型在温榆河流域进行径流模拟能够取得较好的效果, 相同前期土壤湿润、相同频率降雨条件下, 径流量随着时间的推移有增大的趋势, 即产流量表现为, 1997年>1991年>1987年>1975年, 说明随着城市化水平的提高, 城市化使径流增大。年径流量随时间的绝对增量上来看, 相同前期土壤湿润情况下, 丰水年>平水年>枯水年, 而相对增量是枯水年>平水年>丰水年。相同频率降雨情况下, 前期土壤由湿到干径流量呈减小趋势。

[参考文献]

- [1] 赵松岭. 集水农业引论[M]. 西安: 陕西科学出版社, 1996: 94-95.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 徐秋宁, 马孝义, 娄宗科, 等. 小型集水区降雨径流计算模型研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 139-142, 150.
- [6] Shi P J, Yuan Y, Chen J. The effect of land use on runoff in Shenzhen City of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001,

- 21 (7): 1041-1050.
- [7] 袁 艺, 史培军. 土地利用对流域降雨-径流关系的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2001, 2, 37 (1): 131-136.
- [8] 张维江, 李 娟, 王 东, 等. 宁夏中部风沙区地表径流预报模型研究[J]. 人民黄河, 2004, 26 (2): 29-30, 43.
- [9] 张维江, 孙保平, 郭文锋, 等. 黄土丘陵沟壑区小流域治沟骨干工程淤积量预报模型研究[J]. 水土保持研究, 2002, (1): 107-111.
- [10] 秦莉俐, 陈云霞, 许有鹏. 城镇化对径流的长期影响研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2005, 41 (3): 279-285.
- [11] 王白陆. SCS 产流模型的改进[J]. 人民黄河, 2005, 27 (5): 24-26.
- [12] 彭定志, 游进军. 改进的 SCS 模型在流域径流模拟中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2006, 17 (2): 20-24.
- [13] 何春阳, 史培军, 陈 晋, 等. 北京地区土地利用/覆盖变化研究[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 679-681.
- [14] 北京城区雨洪控制与利用项目总体组. 北京城区雨洪控制与利用技术研究与示范技术报告[R]. 2005, 2.
- [15] 北京市水务局. 《北京市水文手册》第二分册洪水篇[Z]. 2005
- [16] Wong Siuwai, Tang Bosin, Basil van Horen. Strategic urban management in China: A case study of Guangzhou development district[J]. Habitat International, 2006, 30 (3): 645-667.

Application of SCS model to simulate rainfall-runoff relationship in Wenyu river basin in Beijing

Zhou Cuining^{1,2}, Ren Shumei^{1*}, Yan Meijun¹

(1. College Of Water Conservancy & Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;
2. Hydrology Bureau of Heilongjiang Province, Harbin 150001, China)

Abstract: In order to study the changes between rainfall and runoff in the urbanization process of Beijing, the SCS model was applied to simulate the process of rainfall and runoff with some observed data in the Wenyu river basin. In addition, the changes of rainfall and runoff relationship in different hydrological years were also simulated. The results show that it is feasible to predict runoff using the SCS model in Wenyu river basin. No matter what the antecedent moisture condition is, annual runoff with different frequency of precipitation has an increase tendency as time goes on. In the same antecedent moisture condition, the absolute increase of annual runoff is followed by: wet year> normal year>dry year, but the relative increase is: dry year>normal year> wet year. Under the same condition of antecedent moisture and rainfall frequency, the higher the level of urbanization is, the greater the runoff is.

Key words: SCS model; Wenyu river basin; rainfall-runoff relationship