

SCS 模型在干旱半干旱区小流域径流估算中的应用

张秀英¹, 孟 飞², 丁 宁²

(1. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 山东建筑工程学院地球空间信息研究所, 山东 济南 250014)

摘 要: SCS 模型是一个只需查与前期降雨量、土壤类型和土地利用方式相关的参数 CN (Curve Number), 就可计算径流量的模型。但是地区间 CN 值差别很大, 很难获得适合本地区的 CN 值。利用定西安家沟流域小区 1986~1988 年的降雨径流观测数据反算 CN , 然后在统计软件 SPSS 下利用逐步回归和曲线模拟函数模拟 CN 与降雨量、前 5 天降雨量和坡度的关系, 最后得出不同土地利用方式下 CN 与上述三个因素的关系, 并得出相应的模拟曲线。利用 1989 年的降雨径流时间对模拟结果进行检验, 证明得到了较好的结果。

关键词: 小流域; SCS 模型; CN ; 径流

中图分类号: S273.1; S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)04-0172-03

Application of SCS Model to Estimating the Quantity of Runoff of Small Watershed in Semi-arid or Arid Region

ZHANG Xiu-ying¹, MENG Fei², DING Ning²

(1. National Laboratory of Western China's Environmental Systems, Lanzhou University,

Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. Department of Earth Spatial Information,

Shandong Institute of Architecture and Engineering, Jinan 250014, China)

Abstract: The model of SCS is a simple model that needs a parameter CN (Curve Number) that just relates to soil types, landuse types and pre-rainfall. But it is seldom used because the CN in different areas is much different and it is not convenient to get the value of CN which fits to the particular area. The observational data about rainfall and runoff from 1986 to 1988 to model the relationship between CN and API (the total rainfall in the five days before the rainfall-runoff event's occurrence), slope, and rainfall are employed and the results show that CN under different landuse types strongly relate to rainfall, does not relate to slope and API. Then, chose API and rainfall to model CN using stepwise regression under SPSS, and the output of statistic eliminate the API. Last, use the Quadratic function and Cubic function to model the CN and R^2 is above 98%. The results employing rainfall runoff observational data in 1989 to check the model is credible.

Key words: small watershed; SCS model; CN ; runoff

黄土区降雨入渗产流问题已有较多研究, 但大多数模型比较复杂, 参数难以获得。美国农业部土壤保持局 (Soil Conservation Service) 于 50 年代提出的 SCS 模型, 能反映不同土壤类型、不同土地利用方式及前期土壤含水量对降雨径流的影响, 它具有简单易行, 所需参数较少, 对观测数据的要求不很严格的特点, 是一种较好的小型集水区径流计算方法。但 SCS 模型需要查一个反映降雨前流域下垫面特征参数 CN (Curve Number)。虽然 CN 可以通过查表得到, 但

CN 值是在美国测定的, 不太适合国内的情况^[2], 利用查得的 CN 值推求的径流量与实测值差别很大。因此, CN 值成为制约 SCS 模型在一地区计算降雨产流的瓶颈。

本文利用定西安家沟小流域的 15 个集水小区 4 年的降雨-径流资料反推 CN 值, 得出在各种不同的土地利用方式下, CN 值与降雨量存在着 95% 以上的相关。因此, 可以利用降雨量模拟 CN 值。这样, 避免了 CN 查表带来的误差, 提高了径流模拟的精度。

1 SCS 模型的基本原理

SCS 模型^[3,5]综合考虑了流域降雨、土壤类型、土地利用方式及管理水平、前期土壤湿润状况与径流间的关系。它基于集水区的实际入渗量(F)与实际径流量(Q)之比等于集水区该场降雨前的潜在入渗量(S)与潜在径流之比的假定基础上建立的,即:

$$\frac{F}{Q} = \frac{S}{Q_m}$$

(1)

式中:假定潜在径流量为降雨量(P)与由径流产生前植物截流、初渗和填注蓄水构成集水区初损量 I_a 的差值,即:

$$Q_m = P - I_a$$

(2)

实际入渗量为降雨量减去初损和径流量,即:

$$F = P - I_a - Q$$

(3)

由(1),(2),(3)式可得出:

$$\begin{cases} Q = \frac{(P - I_a)^2}{P + S - I_a} & P > I_a \\ Q = 0 & P < I_a \end{cases}$$

(4)

为简化计算,假定集水区该场降雨的初损为该场降雨前潜在入渗量的2/10,即:

$$I_a = 0.2S$$

(5)

则式(4)可写为:

$$\begin{cases} Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} & P > 0.2S \\ Q = 0 & P < 0.2S \end{cases}$$

(6)

由此可以看出:集水区的径流量取决于降雨量与该场降雨前集水区的潜在入渗量,而潜在入渗量又与集水区的土壤质地、土地利用方式和降雨前的土壤湿度状况有关,SCS 模型通过一个经验性的综合反映上述因素的参数 CN 来推求 S 值的。

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

(7)

由式(6)可以看出,欲求径流量,只需知道参数 CN 。在实际条件下, CN 值在30~100之间变化。根据土壤特性,将土壤划分为 A,B,C,D 四种类型,根据 CN 值表可以查得不同土地利用条件下,不同土壤类型的 CN 值。然后将土壤湿润状况根据径流事件发生前5天的降雨总量(即前期降雨指数 API)划分为湿润、中等湿润和干旱三种状态,再调节由查表获得的 CN 值^[1]。

2 研究区域概况

定西安家沟小流域是黄河流域祖厉河水系的一条小支沟,位于甘肃省定西县城东。流域四周为黄土丘陵所环抱,周界平面形如掌状。流域面积为10.06 km²,海拔1 900~2 250 m。流域内土壤主要是在沟间地黄土上的黄绵土和沟道盐渍土,坡面黄土深厚,一般达40~60 m,无障碍层,机械组成黏粒(<0.0 mm)占39.17%,粉沙(0.05~0.01 mm)占50.09%,砂粒(>0.05 mm)占10.74%,质地属粉壤土。土壤平均孔隙率55%左右。

在安家沟阴坡向上布置了坡度不同的15个小区,从

1986~1989年进行了4年的降雨径流观测,共观测了31次事件。15个小区的土地利用类型共有5种,分别是10°、15°和20°坡度上的小麦、酸刺、油松、苜蓿和荒地。这5种土地利用类型基本上代表了黄土高原区的土地利用方式:农作物、灌丛、树木、草地和荒坡。因此,对这5种作物进行 CN 值的探讨,有助于探求对黄土高原区不同土地利用方式下的 CN 值。

3 SCS 模型在小流域径流估算中的应用

SCS 模型所以得到广泛应用,最大特点是结构简单,参数少,应用方便,但在我国直接应用误差太大。改进途径一是重新率定 CN 值,二是直接确定初损和流域当时的可能滞留量。关于后一种途径魏文秋等^[2]已经在安徽省做了探讨。本文主要利用已有的降雨径流观测资料,重新确定 CN 。

根据(6)和(7)式,反算 CN 值,从数学角度理解,得到两个值 CN_1 和 CN_2 :

$$\begin{aligned} CN_1 &= \frac{B - (B^2 - 4AC)}{2A} \\ CN_2 &= \frac{B + (B^2 - 4AC)}{2A} \\ A &= (5P + 254)^2 - Q(25P - 5080) \\ B &= 50800(5P + 254) + 50800Q \\ C &= 25400^2 \end{aligned}$$

(8)

根据1986~1988年观测的23次降雨径流事件,按不同的土地利用方式根据(8)式反算 CN 。利用计算得到的 CN 值,在SPSS软件下分别统计在小麦、酸刺、油松、苜蓿和荒地的土地利用方式下 CN 与降雨量、前5天降雨量和坡度的相关性,结果如下:

表 1 计算的 CN 值与本次降雨径流事件中的降雨量、前期降雨量、坡度的相关性分析

土地利用	CN	降雨量	前 5 d 的降雨量	坡度
小麦	CN_1	- 0.991 **	0.300 *	0.11
	CN_2	- 0.979 **	0.298 *	0.006
油松	CN_1	- 0.978 **	0.290 *	- 0.003
	CN_2	- 0.982 **	0.304 *	- 0.003
酸刺	CN_1	- 0.983 **	0.222	0.088
	CN_2	- 0.978 **	0.244	0.084
苜蓿	CN_1	- 0.979 **	0.279 *	0.002
	CN_2	- 0.980 **	0.297 *	- 0.008
荒地	CN_1	- 0.979 **	0.321 *	0.021
	CN_2	- 0.981 **	0.309 *	0.002

注: ** 代表在 0.001 水平上相关, * 代表在 0.05 水平上相关。

由上表可以看出, CN 值与坡度的相关性几乎不存在,与前5天的降水总量虽然存在着相关性,但只在0.05水平上存在相关,而且在酸刺代表的灌木土地利用方式下,二者不相关。但 CN 值与其同次的降雨量存在着很大相关性,相关系数基本都在0.98左右。利用SPSS的逐步回归功能模拟 CN ,各种土地利用方式下的 CN 都将坡度和前5天降水量两个选项淘汰掉。利用二次项曲线和三次项曲线函数模拟,得

到各种不同土地利用方式下的 CN 函数。模拟的参数情况见 表 2:

表 2 利用降雨量进行 CN 值的模拟分析

	CN	函数	R sq	b_0	b_1	b_2	b_3
小麦	CN_1	Quadratic	0.998	97.0077	- 1.5505	0.0095	
		Cubic	1.000	99.4634	- 2.0315	0.0327	- 0.003
	CN_2	Quadratic	1.000	98.8988	- 1.5031	0.0120	
		Cubic	1.000	99.7173	- 1.6634	0.0197	- 0.0001
油松	CN_1	Quadratic	0.997	97.8503	- 1.6208	0.0132	
		Cubic	0.997	99.2840	- 1.9017	0.0268	- 0.0002
	CN_2	Quadratic	0.999	98.4475	- 1.4993	0.0114	
		Cubic	0.997	99.9086	- 1.7855	0.0252	- 0.0002
酸刺	CN_1	Quadratic	0.999	97.5772	- 1.5718	0.0119	
		Cubic	0.999	98.8402	- 1.8219	0.0241	- 0.0002
	CN_2	Quadratic	0.998	98.7841	- 1.5562	0.0128	
		Cubic	0.999	100.322	- 1.8608	0.0277	- 0.0002
苜蓿	CN_1	Quadratic	0.995	97.5058	- 1.61	0.0128	
		Cubic	0.996	99.2263	- 1.9471	0.0291	- 0.0002
	CN_2	Quadratic	0.996	98.7580	- 1.5089	0.0118	
		Cubic	0.996	99.9288	- 1.7383	0.0229	- 0.0001
荒地	CN_1	Quadratic	0.997	97.6626	- 1.6057	0.0128	
		Cubic	0.998	99.3165	- 1.9346	0.0288	- 0.0002
	CN_2	Quadratic	0.997	98.7033	- 1.5200	0.0119	
		Cubic	0.998	99.9200	- 1.7620	0.0236	- 0.0002

注: Quadratic 的函数形式: $CN = b_0 + b_1 * P + b_2 * P^2$, Cubic 的函数形式: $CN = b_0 + b_1 * P + b_2 * P^2 + B_3 * P^3$

由表中可以看到, 利用二次项曲线和三次项曲线模拟 CN 值具有很高的可信度。根据每种土地利用方式下的模拟的四个 CN 值和相应的降雨径流事件中的降雨数据, 计算 1989 年的 8 次降雨径流事件中径流量。根据模拟的结果判断出相应土地利用类型下的最优 CN 模拟函数。结果如下:

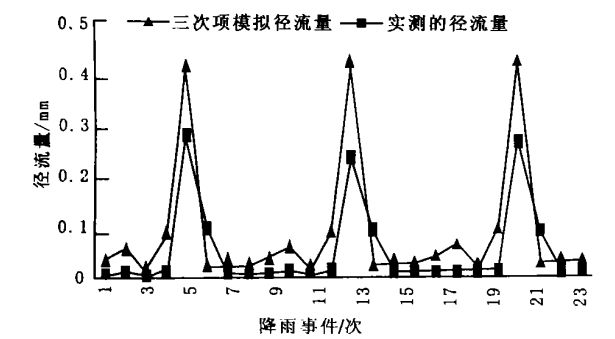


图 1 CN_1 的三次项函数模拟的小麦地径流与实测径流

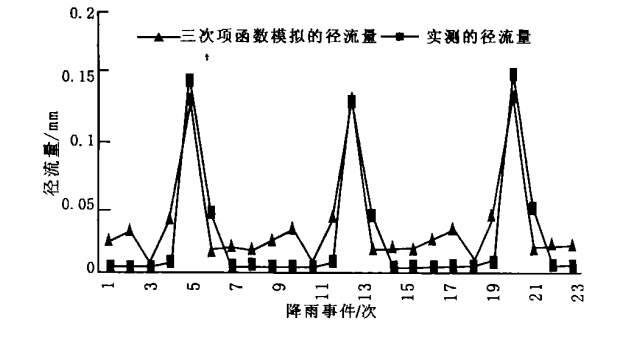


图 2 CN_2 的三次项函数模拟的油松地径流与实测径流

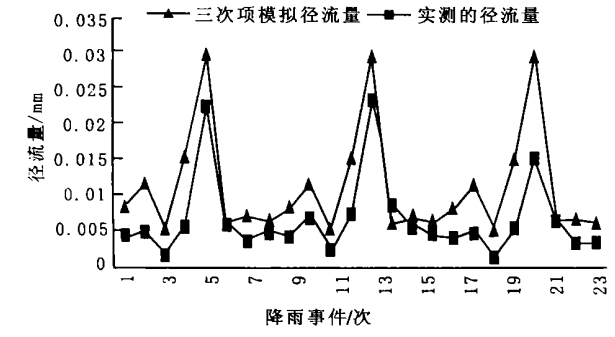


图 3 CN_2 的三次项函数模拟的酸刺地径流与实测径流

小麦利用的是 CN_1 的三次项函数模拟的结果, 24 次降雨径流事件的实测径流和模拟径流的相关系数达到 89.46%。

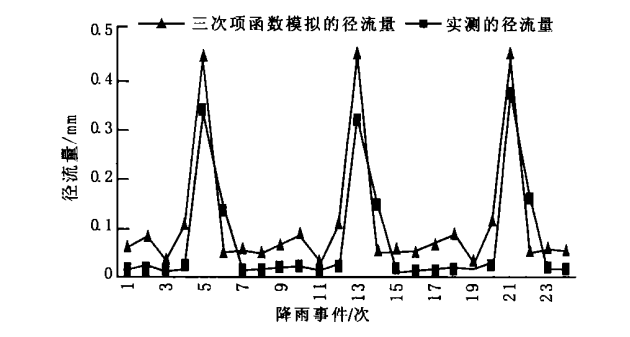


图 4 CN_2 的三次项函数模拟的苜蓿地径流与实测径流

油松是利用 CN_2 的三次项函数模拟的结果, 24 次降雨径流事件的实测径流和模拟径流的相关系数达到 90.69%。

(下转第 249 页)

应通过宣传媒体和教育提高公众对湿地生态效益的认识, 强化公众的湿地保护意识; 开展多种途径的资金筹措, 推广湿地生态补偿政策, 进而加强湿地调查与基础研究。在环

保部门指引下, 让公众积极参与其中, 积极地监督湿地的环境状况, 自觉保护湿地环境, 维护湿地生态系统平衡, 达到一种“全民环保”的境界。

参考文献:

[1] 佟凤勤, 刘兴土 中国湿地生态系统研究的若干建议[A] 见: 陈宜瑜 中国湿地研究[M] 长春: 吉林科学技术出版社, 1995 10- 14

[2] 赵魁义 湿地研究的现状与展望[A] 见: 陈宜瑜 中国湿地研究[M] 长春: 吉林科学技术出版社, 1995 1- 9

[3] 黄文秀 农业自然资源[M] 北京: 科学出版社, 1998 212- 222

[4] 牛焕光, 张养贞 东北地区沼泽[A] 中国沼泽研究[M] 北京: 科学出版社, 1988 46- 57

[5] 余国营 洪灾后的反思: 论湿地管理与洪水灾害的生态关系[J] 生态学杂志, 1999, 18(1): 24- 28

[6] 王化群 洞庭湖地区的湿地及其保护和开发利用[A] 见: 陈宜瑜 中国湿地研究[M] 长春: 吉林科学技术出版社, 1995 202- 208

[7] 常剑波 长江三峡水库与上游鱼种保护[J] 湿地通讯, 1999(4): 17- 18

[8] 陈桂琛, 彭敏, 李来兴, 等 青海湖湿地环境特征及其保护与合理利用[A] 见: 陈宜瑜 中国湿地研究[M] 长春: 吉林科学技术出版社, 1995 241- 247

[9] 白军红, 邓伟 中国河口环境问题及其可持续管理对策[J] 水土保持通报, 2001, 21(6): 12- 15

[10] 肖笃宁, 胡远满, 王宪礼 我国北方滨海湿地的生态环境特点与利用保护[A] 见: 陈宜瑜 中国湿地研究[M] 长春: 吉林科学技术出版社, 1995 262- 268

(上接第 174 页)

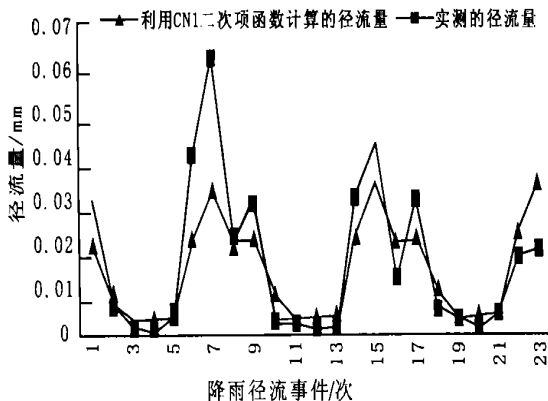


图 5 CN_1 的三次项函数模拟的荒地地径流与实测径流

酸刺是利用 CN_2 的三次项函数模拟的结果, 24 次降雨径流事件的实测径流和模拟径流的相关系数达到 89.93%。

苜蓿是利用 CN_2 的三次项函数模拟的结果, 24 次降雨径流事件的实测径流和模拟径流的相关系数达到 91.49%。

参考文献:

[1] 赵松岭 集水农业引论[M] 西安: 陕西科技出版社, 1996

[2] 魏文秋, 谢淑秦 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

[3] William, J R, Lasear, W V. Water yield model using SCS curve numbers[J] Journal of Hydraulics Division, 1976, 102 (9): 1221- 1253

[4] Bosznay, M. Generalization of SCS curve number method[J] Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1989, 115 (1): 139- 144

[5] 徐秋宁, 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(3): 139- 150

荒地是利用 CN_1 的二次项函数模拟的结果, 24 次降雨径流事件的实测径流和模拟径流的相关系数达到 82.97%。

总的看来, 模拟的函数在低降雨量事件中, 径流的模拟精度很高, 但当降雨量很高时, 模拟精度变低, 主要原因可能是黄土高原区高降雨量事件往往是暴雨, 产流过程比较复杂。

4 结论和展望

(1) 本文借助 CN 利用降雨量模拟径流, 得到了可信度很高的结果。如果不借助于 CN , 直接利用降雨量 CN , 得到的结果相比较而言, 可信度很低。

(2) 本文虽然探讨了不同土地利用方式下的 CN 值, 但实际上, 土地利用方式对 CN 值的影响不是很大。尽管如此, 如果有更多的土地利用方式的资料, 可以对多种土地利用方式下的 CN 做探讨, 以找出规律。

(3) 本文是在定西安家沟小流域做的工作, 研究区内土壤类型比较一致。未来的工作应该对不同的土壤类型下的 CN 值做探讨。