

北京地区径流曲线数模型中的径流曲线数

符素华¹, 王红叶¹, 王向亮², 袁爱萍³, 路柄军³

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

2. 鞍山师范学院中文系, 辽宁鞍山 114007; 3北京水土保持工作站, 北京 100038)

摘要: 径流曲线数模型(SCS-CN模型)是国内外最受欢迎的地表径流评价方法, 该模型只需综合参数——径流曲线数(CN), 该参数反映降雨前流域的地表和土壤特征。本文的目的是确定北京地区径流曲线数模型中的径流曲线数。研究采用了北京密云、延庆、门头沟64个坡面径流小区的降雨径流资料, 用算术平均值法计算出小区径流曲线数值, 用定水头法测定了北京主要土壤类型和土地利用类型的饱和导水率, 用经验公式确定出64个坡面径流小区的饱和导水率值, 并根据饱和导水率确定了北京地区和坡面径流小区的水文土壤组类型, 得到了北京不同水文土壤组、土地利用下的径流曲线数数据库。结果表明: 北京地区主要水文土壤组为B类; 土地利用、水土保持措施、植被盖度和前期土壤湿度等对径流曲线数有显著影响; 根据北京径流小区径流资料得到的径流曲线数值比美国土壤保持局查算表提供的数值要大。本研究结果可为该区域的地表水资源量评价以及土地利用管理提供服务。

关键词: 径流计算; SCS-CN模型; 径流曲线数; 北京地区

1 引言

径流模型是土壤侵蚀模型和非点源污染模型的基本组成部分。Philip入渗曲线、Green-Ampt入渗曲线和Horton入渗曲线等是目前常用的径流计算方法^[1], 但利用上述方法计算径流时会涉及到不易获取的参数。在世界许多地区的径流计算中, 美国农业部土壤保持局(USDA SCS)研制的径流曲线数模型——SCS-CN模型^[2]在世界上许多国家都得到了应用。该模型只有一个综合参数径流曲线数(CN), 它与土地利用、坡度、土壤类型以及前期土壤湿度等因素有关^[3-5]。

目前, 许多学者将SCS-CN模型应用到我国的径流计算及水资源评价中^[6-10], 在这些应用中主要采用了美国农业部土壤保持局^[2, 4]提供的CN查算表中的CN值来估算径流量。但是该CN值查算表反映的是美国地域特征, 而中国大多数地区与美国的气候、植被、土壤、地形等多方面存在着显著差异, 若直接应用表中的CN值来计算我国的径流量必然会存在精度问题。Boughton^[11]研究表明CN取值±10%的变化可导致计算径流量+55%和-45%的变化。可见, 在SCS-CN模型中, CN值的确定对径流量的准确估算非常重要。国内学者就SCS-CN模型如何更好应用于中国已开展了一些研究, 研究主要集中在以下3个方面: ① SCS-CN模型中初损系数的取值^[12-16]。贺宝根等^[12]在应用SCS-CN模型研究上海郊区农田非点源污染计算降雨径流时, 为降低误差将I取值修正到0.05。王英和黄明斌^[13]

收稿日期: 2012-05-26; 修订日期: 2013-02-27

基金项目: 北京市自然科学基金项目(8072016); 中央高校基本科研业务费专项

作者简介: 符素华(1973-), 四川岳池人, 教授, 主要从事土壤侵蚀与水土资源管理方面的研究。

E-mail: suhua@bnu.edu.cn

用黄土高原地区6个试验小区的降雨径流资料对初损系数进行了优化。Shi等^[14]和Fu等^[15]分别用长江三峡和黄土高原的资料研究了初损系数的取值。周淑梅和雷廷武^[16]确定了黄土丘陵沟壑区典型小流域初损率取值。② 径流曲线数影响因素^[17-18]。Huang等分别在2006年和2007年研究了坡度和不同土层深度(0~15 cm, 0~30 cm和0~100 cm)土壤含水量对径流曲线数的影响^[17-18]。③ 应用坡面径流小区资料研究径流曲线数取值^[19-22]。罗利芳等^[19]利用陕西安塞县25个小区的降雨径流资料,根据SCS-CN模型反推得到了黄土高原地区不同下垫面条件下的CN值。符素华等^[20]根据北京密云石匣试验站三个小区的实测降雨径流资料,比较了S对数频率分布法、渐近线法、平均值法、算术平均值法、以及中值法反推小区CN值计算径流深的精度。张钰娴等^[21]用黄土丘陵区径流场62场实测降雨资料分析了坡度对径流曲线数的影响。李常斌等^[22]用甘肃安家沟流域的15个径流场资料反推了径流曲线数值。

中国的SCS-CN模型应用及研究工作主要集中在黄土高原地区。在北京地区,有关这方面的研究还较少。房孝铎等^[23]用北京密云石匣两场降雨、7个试验小区验证了SCS-CN模型的有效性。但是到目前为止,在北京地区还没有可为SCS-CN模型应用的参数基础,仍缺乏有效的径流曲线数数据。因此本文旨在利用北京坡面径流小区资料,根据SCS-CN模型运用算术平均值法求出不同土地利用下的CN值,并结合北京地区水文土壤组划分,最终得出北京地区不同水文土壤组、不同土地利用方式下的CN值,为北京地区的水资源评价和管理、以及水土保持措施管理服务。

2 模型原理

SCS-CN模型是20世纪50年代初美国农业部水土保持局研制的径流计算模型^[4]。该模型基于两个基本假定和水量平衡方程^[2]。第一个基本假定是:实际地表径流深(Q)与可能最大径流深的比值等于实际入渗量(F)与土壤潜在蓄水能力(S)之比;另一个假定是:初损(I_a)是土壤潜在蓄水能力(S)的一部分。用公式可分别表示如下:

$$P = I_a + F + Q \quad (1)$$

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{F}{S} \quad (2)$$

$$I_a = \lambda \cdot S \quad (3)$$

由(1)和(2)得到:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad (4)$$

为了减少变量数,经大量降雨径流实验数据得到 I_a 与 S 的经验关系式: $\lambda=0.2$,因此有:

$$Q = \begin{cases} \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} & P > 0.2S \\ 0 & P \leq 0.2S \end{cases} \quad (5)$$

S 与CN值的经验转换关系:

$$S = 25400/CN - 254 \quad (6)$$

式中: P 为降雨量(mm); Q 为径流深(mm); I_a 为初损(mm); S 为潜在蓄水能力

(mm); λ 为初损系数; CN 为径流曲线数, 是SCS-CN模型的主要参数。

由式(5)和(6)分别反推出以下公式:

$$S = 5 \left[P + 2Q - (4Q^2 + 5PQ)^{1/2} \right] \quad (7)$$

$$CN = \frac{25400}{254 + S} \quad (8)$$

根据式(7)和(8)可计算出某次降雨径流相应前期土壤湿度条件下的 CN 值。

前期土壤湿度较干状况下(AMC1)的 CN 值(CN_1)、正常情况下(AMC2)的 CN 值(CN_2)和湿润状况下(AMC3)的 CN 值(CN_3)之间的关系如公式(9)和(10)^[4]。因此, 在知道其中一种条件的 CN 值后, 另两个条件下的 CN 值可由这两个公式计算出:

$$CN_1 = CN_2 - \frac{20(100 - CN_2)}{100 - CN_2 + \exp[2.533 - 0.0636(100 - CN_2)]} \quad (9)$$

$$CN_3 = CN_2 \exp[0.00673(100 - CN_2)] \quad (10)$$

3 研究资料与方法

3.1 研究区概况

北京地处中纬度地带, 属暖温带半湿润气候区, 四季分明, 春秋短促, 冬夏较长。年平均气温13度, 年平均降雨量508 mm^[24]。依据发生学、自然土壤与农业土壤相统一的分类原则, 土壤划分为8个土类, 19个亚类。其中褐土占全市土壤总面积的64.65%, 潮土占13.82%, 为全市最主要的两类土壤^[24]。土地利用类型主要有耕地、林地、园地、草地及城市建设用地等, 整体地理环境变化比较复杂。

3.2 研究资料

土壤理化资料。测定密云石匣、延庆上辛庄和门头沟担礼共64个径流试验小区的土壤级配资料和有机质含量来计算饱和导水率, 并根据饱和导水率来确定径流小区的水文土壤组。

降雨径流数据。北京门头沟担礼19个径流小区2005-2006年、延庆上辛庄23个径流小区2001-2006年、密云石匣22个径流小区1993-2006年的实测降雨径流资料。小区情况如表1所示。

3.3 研究方法

3.3.1 水文土壤组的划分标准及方法 水文土壤组反映土壤入渗能力的强弱。美国土壤保持局将土壤划分为A、B、C、D 4大类型^[2], 其土壤入渗能力依次减弱。本文对北京地区进行水文土壤组划分时采用了Soil Survey Manual^[25]中的标准, 即根据土壤的饱和导水率(K_s)来进行划分, 具体的划分标准如表2所示:

北京径流小区的饱和导水率通过经验公式(11)计算得到:

$$K_s = 0.056 \cdot C + 0.016 \cdot S + 0.231 \cdot O_m - 0.693 \quad (11)$$

式中: K_s 代表饱和导水率(mm/min); C 表示土壤中黏粒含量(%); S 是土壤中砂粒含量(%); O_m 是土壤中有机质含量(%)。其中的土壤粒级分类标准依照美国制。将北京64个径流试验小区的土壤级配和有机质资料代入上式即可计算出每个小区的饱和导水率。

北京地区主要土壤类型、土地利用类型的饱和导水率值由定水头入渗试验确定。根据

表 1 密云、延庆和门头沟径流小区基本情况

Tab. 1 Basic situation of runoff plots in Miyun, Yanqing and Mentougou counties

小区号	坡度 (°)	坡长 (m)	坡宽 (m)	坡向	土壤类型	土地利用及措施	资料年限
密1	16.8	10	5	阳	粗骨褐土	陡坡开荒(玉米)	1993 - 2007
密2	16.8	10	5	阳	粗骨褐土	栗树(大水平条)	1993 - 2007
密3	16.8	10	5	阳	粗骨褐土	栗树(大水平条,土埂)	1993 - 2002
密3'	16.8	10	5	阳	粗骨褐土	标准小区	2003 - 2007
密4	14.6	10	5	半阳	粗骨褐土	标准小区	1993 - 2007
密5	14.6	10	5	半阳	粗骨褐土	灌木林(45~60%)	1993 - 2007
密6	11.6	10	5	半阴	粗骨褐土	山楂(大水平条)	1993 - 2002
密6'	11.6	10	5	半阴	粗骨褐土	玉米(坡耕地)	2003 - 2007
密7	9.6	10	5	半阴	粗骨褐土	山楂(大水平条,土埂草)	1993 - 2007
密8	27	10	5	阴	粗骨褐土	灌木林(>75%)	1993 - 2007
密9	27	10	5	阴	粗骨褐土	沙打旺(小水平条)	1993 - 2002
密9'	27	10	5	阴	粗骨褐土	灌木林(45-60%)	2003 - 2007
密10	27	10	5	阴	粗骨褐土	刺槐(鱼鳞坑)	1993 - 2007
密11	19.5	5	5	半阴	粗骨褐土	灌木林(45~60%)	1993 - 2007
密12	17.2	10	5	半阴	粗骨褐土	油松、刺槐(鱼鳞坑)	1993 - 2007
密13	18.9	10	5	半阴	粗骨褐土	灌木林(45~60%)	1993 - 2007
密14	19.3	15	5	半阴	粗骨褐土	灌木林(45~60%)	1993 - 2007
密15	19	10	5	半阴	粗骨褐土	刺槐(鱼鳞坑)	1993 - 2002
密15'	19	10	5	半阴	粗骨褐土	人工草地	2003 - 2007
密16	19	10	5	半阴	粗骨褐土	板栗(小水平条)	1993 - 2002
密16'	19	10	5	半阴	粗骨褐土	灌木林(<30%)	2003 - 2007
密17	3.8	10	5	阳	粗骨褐土	玉米(梯田)	1993 - 2007
密18	3.8	10	5	阳	粗骨褐土	玉米(坡耕地)	1993 - 2007
密19	6	10	5	半阳	粗骨褐土	灌木林(45~60%)	1993 - 2007
密20	6	10	5	半阳	粗骨褐土	豆科(免耕)	1993 - 2002
密20'	6	10	5	半阳	粗骨褐土	玉米(坡耕地)	2003 - 2007
密21	14.6	20	5	阳	粗骨褐土	标准小区	1999 - 2007
密22	14.6	20	5	阳	粗骨褐土	标准小区	1999 - 2007
延1	5	10	5	阴	普通褐土	灌木林(50%)	2001 - 2007
延2	8	10	5	半阴	普通褐土	灌木林(50%)	2001 - 2007
延3	14	10	5	半阴	普通褐土	灌木林(30%)	2001 - 2007
延4	18	10	5	半阴	普通褐土	灌木林(50%)	2001 - 2007
延5	24	10	5	阴	普通褐土	裸地	2001 - 2007
延6	25	10	5	阴	普通褐土	灌木林(90%)	2001 - 2007
延7	30	10	5	阴	普通褐土	灌木林(50%)	2001 - 2007
延8	19	10	5	半阴	普通褐土	灌木林(10%)	2001 - 2007
延9	20	10	5	阳	普通褐土	灌木林(70%)	2001 - 2007
延10	21	10	5	阳	普通褐土	灌木林(5%)	2001 - 2007

续表 1

延11	15	5	5	阴	普通褐土	休闲地	2001-2007
延12	15	15	5	阴	普通褐土	休闲地	2001-2007
延13	15	20	5	阴	普通褐土	标准小区	2001-2007
延14	15	20	5	阴	普通褐土	标准小区	2001-2007
延15	15	1	5	阴	普通褐土	休闲地	2001-2007
延16	15	2	5	阴	普通褐土	休闲地	2001-2007
延17	8	10	5	阴	普通褐土	玉米(坡耕地)	2001-2007
延18	15	10	5	阴	普通褐土	鱼鳞坑	2001-2007
延19	15	10	5	阴	普通褐土	侧柏(鱼鳞坑)	2001-2007
延20	15	10	5	阴	普通褐土	休闲地	2001-2007
延21	15	10	5	阴	普通褐土	板栗(水平条)	2001-2007
延22	12	10	5	阴	普通褐土	休闲地(水平条)	2001-2007
延23	12	10	5	阴	普通褐土	板栗(树盘)	2001-2007
门1	23	10	5	阳坡	普通褐土	灌木林(30%)	2005-2007
门2	24	10	5	阳坡	普通褐土	灌木林(5%)	2005-2007
门3	22	10	5	阳坡	普通褐土	灌木林(90%)	2005-2007
门4	21	10	5	阳坡	普通褐土	灌木林(10%)	2005-2007
门5	21	10	5	阳坡	普通褐土	灌木林(20%)	2005-2007
门6	18	20	5	阳坡	普通褐土	灌木林(5%)	2005-2007
门7	19	20	5	阳坡	普通褐土	灌木林(60%)	2005-2007
门8	15	10	5	阳坡	普通褐土	灌木林(60%)	2005-2007
门9	17	20	5	阳坡	普通褐土	灌木林(20%)	2005-2007
门10	15	20	5	半阳	普通褐土	标准小区	2005-2007
门11	15	20	5	半阳	普通褐土	休闲地(树盘)	2005-2007
门12	15	20	5	半阳	普通褐土	京白梨(树盘)	2005-2007
门13	15	20	5	半阳	普通褐土	板栗(树盘)	2005-2007
门14	15	20	5	半阳	普通褐土	裸地(石坎梯田)	2005-2007
门15	15	10	5	半阳	普通褐土	苜蓿(传统耕作)	2005-2007
门16	15	10	5	半阳	普通褐土	绿豆(传统耕作)	2005-2007
门17	15	10	5	半阳	普通褐土	玉米(传统耕作)	2005-2007
门18	15	10	5	半阳	普通褐土	裸地(石坎梯田)	2005-2007
门19	15	10	5	半阳	普通褐土	标准小区	2005-2007

北京地区土地利用和土壤类型, 对北京所有 19 个土壤亚类和农地、林地和草地三种主要土地利用类型进行了试验布点, 共布设 51 个样地, 在每一个样地上, 用 PVC 取样环取直径 8 cm、高 5 cm 的原状土 6 个带回室内, 用定水头法测定饱和导水率。

3.3.2 前期湿度条件 (AMC) 的确定 美国土壤保持局^[2] 引入了前期降水指数 *API* (Antecedent Precipitation Index) 来考虑前期土壤湿度对径流的影响, 前期降水指数在数量上为降雨前 5

表 2 水文土壤组划分标准

Tab. 2 The classification criteria of hydrologic soil group

饱和导水率 K_s /mm/h	>180	18-180	1.8-18	<1.8
水文土壤组	A	B	C	D

天的降雨总量 (mm)。根据前期降水指数 *API*, 前期土壤湿度条件 (Antecedent Moisture Condition, 简称 AMC) 划分为干旱 (AMC1), 正常 (AMC2) 和湿润 (AMC3) 3 级 (表3)。

3.3.3 北京地区 CN 值确定方法

(1) 根据径流试验小区计算 CN_i 值

对密云、延庆、门头沟地区的产流事件按前期土壤湿度条件进行划分, 前期土壤湿度条件为 AMC1 的产流次数分别占总产流次数的 66%、79%、84%。可见, 北京降雨产流的前期湿度条件以干旱居多。为使结果更具有实用性, 文中采用 AMC1 下的 CN 值即 CN_i 作为径流预报参数。把每个径流试验小区的降雨径流资料代入式 (7) 和 (8), 计算出每一实测降雨径流数据对的 S 及对应的 CN 值, 然后取算术平均值得到该小区的最终 CN 值。

(2) 根据美国土壤保持局查算表推算北京地区 A 类水文土壤组下的 CN_i 值

美国土壤保持局提供的 CN 查算表^[2]实际是 CN_2 查算表。根据公式 (9) 计算出 CN 查算表中 A、B 水文土壤组下的 CN_i 值。然后计算出每一土地利用方式下 A 和 B 水文土壤组对应 CN_i 值的比值, 根据该比值来反算出北京地区 A 类水文土壤组下的 CN_i 值。

(3) 北京地区建设用地 CN_i 值

建设用地包括城乡居民点、独立工矿用地、商服及公共用地、交通运输用地、水利设施等。建设用地中 CN 值大小的主要影响因素是下垫面的透水性、不透水面积大小及植物种植地区 (如草坪、公园) 的盖度。由于北京地区没有布设相关的径流小区, 并且这类用地的下垫面条件国内外基本相似, 因此, 北京地区建设用地的 CN 值直接采用美国土壤保持局提供的 CN 查算表中提供的值。

4 结果与分析

4.1 北京径流小区与北京地区的水文土壤组划分

由 64 个径流小区的土壤级配资料, 根据式 (11) 和水文土壤组划分标准得到了表 4。由表 4 可以看出, 密云、延庆和门头沟 3 个地区径流小区的饱和导水率值都处于 18-180 mm/h 之间, 因此其水文土壤组都为 B 类。

定水头入渗试验结果表明 (表 5), 北京地区大部分土壤的水文土壤组类型都是 B。

表 4 北京径流小区的饱和导水率和水文土壤组

Tab. 4 The saturated hydraulic conductivity and hydrologic soil group of runoff plots in Beijing

地区	试验小区个数	饱和导水率 (mm/h)				水文土壤组
		最小值	最大值	平均值	变差系数	
密云	22	76.0	124.5	94.7	0.1	B
延庆	23	65.3	157.7	100.4	0.2	B
门头沟	19	78.4	123.8	102.1	0.1	B

表 3 前期土壤湿度条件分类

Tab. 3 The classification of antecedent moisture conditions (AMC)

AMC	前 5 天降雨总量 (mm)	
	生长期	休闲期
1	<35.6	<12.7
2	35.6-53.3	12.7-27.9
3	>53.3	>27.9

表5 北京地区不同土壤质地的理化性质及饱和导水率

Tab. 5 Soil properties and saturated hydraulic conductivity of different soil textures in Beijing

质地	样本数	砂粒 %	粉粒 %	粘粒 %	有机质 %	容重 g/cm ³	饱和导水率 mm/h	水文学土壤组
黏壤土	3	26±2	45±3	28±1	2.00±0.33	1.47±0.05	44±4	B
粉壤土	26	29±7	57±6	15±6	2.10±1.67	1.30±0.18	79±58	B
壤土	15	39±8	45±4	16±5	1.86±2.04	1.32±0.13	74±63	B
砂黏土	1	69	23	8	2.42	1.53	164	B
砂壤土	3	60±4	31±5	10±0	1.32±0.26	1.47±0.07	166±70	A, B
壤砂土	1	80	15	5	0.36	1.39	104	B
砂土	2	88±0	9±0	3±0	0.38±0.06	1.44±0.13	77±2	B

4.2 径流曲线数影响因素

径流曲线数取值受土地利用、工程措施、植被盖度和前期湿度条件的影响。不同土地利用下的 CN_i 值有显著的差别。土地利用直接影响到地表植被疏密、地表扰动程度、方式等, 因此直接会影响植被截留和土壤入渗, 对产流产生影响, 从而影响径流曲线数值。如无工程措施时, 休闲地(门10)、旱地玉米(门17)和人工牧草地(门15)的 CN_i 值分别为87、85、72, 依次降低。

地表植被的高矮、疏密在产流中起着截流和增加入渗的作用。地表植被盖度越低, 径流量就越大, 相应的 CN 值也就越大, 相反植被盖度越高, 径流量越少, 相应的 CN 值也就越小。如灌木林地小区中, 门5植被盖度为20%, CN_i 值为82.7; 门7植被盖度为60%时, 其 CN_i 值为69.4。又如同等条件下休闲地小区的 CN_i (门10 CN_i 为87) 比有旱地(门17 CN_i 为85) 和人工牧草地小区(门15 CN_i 为72) 的 CN_i 要高。

同一土地利用类型下、不同水土保持工程措施对应的 CN_i 值大小也不同。豆科作物在实行传统耕作时 CN_i 为86.3(门16), 而当采用免耕种植时 CN_i 降为77.3(密20); 休闲地没有工程措施时 CN_i 最大为90.4(延15), 有树盘时降到79.1。可见, 水土保持工程措施对径流的影响在SCS-CN模型中都反映在对径流曲线数的影响上。

表6是AMC2和AMC3所占比例较大的几个小区不同前期土壤湿度条件下的径流曲线

表6 前期湿度条件对径流曲线数值的影响及公式(9)、(10)验证

Tab. 6 Effect of antecedent moisture conditions on CN and the validation of Eqs. (9) and (10)

小区号	产流次数百分比%			根据径流小区实测 数据计算			根据公式(9)、 (10)计算	
	AMC1	AMC2	AMC3	CN_i	CN_e	CN_s	CN_e	CN_s
延11	65	21	15	85.9	86.8	94.5	94.1	97.9
延12	67	20	13	84.4	86.4	93.9	93.4	97.6
延13	65	20	15	83.3	85.5	92.9	92.8	97.4
延14	66	20	15	83.9	85.0	93.0	93.1	97.5
延15	64	20	16	90.4	90.2	96.0	96.1	98.7
延16	64	21	15	89.7	90.6	94.4	95.8	98.5
延20	63	21	16	85.3	86.6	93.2	93.8	97.8
门18	70	15	15	85.9	91.9	84.7	94.0	97.9
门19	68	16	16	87.0	95.1	89.2	94.6	98.1

数比较。表6表明前期土壤湿度条件对径流曲线数有较大影响。通常,前期土壤湿度较大时,有较高的径流曲线数值。相关分析结果表明, CN_1 和 CN_2 之间以及 CN_2 和 CN_3 之间并没有较好的相关性,其相关系数分别为0.6和0.5。与公式(9)、(10)所计算的 CN_2 和 CN_3 相比,根据实测资料计算的 CN_2 和 CN_3 明显偏低。这可能是由于AMC2和AMC3湿度条件下的降雨次数较少(AMC2和AMC3产流次数最多为13次和10次),分析所得到的 CN_2 和 CN_3 缺乏较好的代表性所致。因此在北京地区前期土壤湿度条件对径流曲线数的定量影响还有待于进一步进行观测和研究。

4.3 北京地区不同水土土壤组、不同土地利用下的 CN_1 值

结合北京地区的水文土壤组和土地利用,根据北京坡面径流小区得到的 CN_1 以及美国土壤保持局提供的查算表整合得到了北京地区不同水土土壤组、不同土地利用方式下的 CN_1 值(表7)。该表可为北京地区的地表水资源量评价和土地利用管理提供服务。

与美国土壤保持局查算表计算的 CN_1 相比,同一土地利用类型下由北京径流资料计算的 CN_1 值偏大(表8),如灌木林地(盖度>70%)径流小区资料得到的 CN_1 是美国土壤保持局 CN_1 的2.6倍。两种方法得到的休闲地 CN_1 较为接近,但是径流小区得到的 CN_1 仍是美国土壤保持局 CN_1 的1.2倍。这一结果表明:美国土壤保持局提供的 CN 查算表不适合用在在北京地区,如果直接采用,会带来较大的径流计算误差。

5 结论

根据北京密云、延庆和门头沟64个径流小区的资料以及北京地区定水头入渗试验的结果对小区和北京地区的土壤进行了水土土壤组划分。结果表明,小区土壤均属于B类水土土壤组,北京地区水土土壤组有A和B两类,其中B类分布最为广泛。

土地利用类型、水保措施、植被覆盖度和前期土壤湿度等对径流曲线数有显著影响。北京地区的 CN_1 值与美国土壤保持局查算表中相应的 CN_1 值差别很大,根据北京径流小区径流资料得到的径流曲线数值比美国土壤保持局查算表提供的数值要大。可见,在使用SCS-CN模型时,有必要根据当地资料推算出合适的 CN 值。研究得出的北京地区径流曲线数表可为该区域的地表水资源量评价以及土地利用管理提供服务。

参考文献(References)

- [1] 符素华,刘宝元,吴敬东,等.北京地区坡面径流计算模型比较研究.地理科学,2002,22(5):604-609.
- [2] Soil Conservation Service. Section 4: Hydrology in national engineering handbook. SCS. 1972.
- [3] Natural Resources Conservation Service. Technical release 55-urban hydrology for small watersheds. USDA, 1986.
- [4] Neitsch S L, Arnold J G, Kiniry J R et al. Section 2: hydrology in soil and water assessment tool theoretical documentation. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, 2002: 98.
- [5] Soil Conservation Service Engineering Division. Urban hydrology for small watersheds. U.S. Department of Agriculture, Technical Release 55. 1986.
- [6] 洪林,罗琳,江海涛.SCS模型在流域尺度水文模拟中的应用.武汉大学学报(工学版),2009,42(5):582-587.
- [7] 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.农业工程学报.2008,24(3):87-90.
- [8] 彭定志,游进军.改进的SCS模型在流域径流模拟中的应用.水资源与水工程学报.2006,17(1):20-24.
- [9] 郑长统,梁虹,舒栋才,等.基于GIS和RS的喀斯特流域SCS产流模型应用.地理研究,2011,30(1):185-195.
- [10] Shi Peijun, Yuan Yi, Zheng Jing et al. The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region,

表7 北京地区不同水文土壤组及地表覆盖下的 CN_1 表
 Tab. 7 CN_1 for hydrologic soil-cover complexes in Beijing

土地利用	下垫面状况——水保措施、盖度等	不同水文土壤组下的 CN_1		
		A	B	
	无	69.8	86.3	
	石坎梯田	69.2	84.4	
休闲地	工程措施	水平条	65.8	80.4
		鱼鳞坑	65.1	79.5
		树盘	64.8	79.1
		传统耕作	63.6	85.2
旱地(豆科作物)	耕作措施	免耕	57.0	77.3
		无	58.6	79.5
旱地(玉米)	工程措施	梯田	50.3	68.3
		树盘	36.6	79.4
		大水平条	31.4	68.2
果园	工程措施	大水平条,土埂	30.6	66.4
		小水平条	28.2	61.1
		水平条(郁闭度<30%,盖度<50%)	36.8	79.7
有林地	工程措施	鱼鳞坑(郁闭度<30%,盖度<50%)	31.0	67.2
		≤50%	35.2	76.4
灌木林地	盖度	50%~70%	34.5	74.7
		>70%	34.0	73.8
人工牧草地	工程措施	无(盖度≥75%)	35.7	73.8
		小水平条(盖度≥75%)	32.7	67.7
		65%	59	70
		38%	41	57
城镇居民点	不透水面积占总面积的百分比	30%	37	53
		25%	34	51
		20%	31	48
农村居民点	建筑物、道路和周围其他用地	39	55	
独立工矿用地	不透水面积占总面积的72%	盖度≥75%	19	41
		露天地区,草坪,公园等	30	50
商服及公共用地	停车场,屋顶,车道等	盖度50%~70%	30	50
		商业区	76	81
		水泥路面	94	94
交通运输用地	卵石或砾石路	58	70	
	泥路,天然土路	53	66	
水域及水利设施		100	100	

表 8 北京地区 CN_1 与美国土壤保持局 CN_1 比较Tab. 8 Comparison of CN_1 with different methods

土地利用类型	北京地区 CN_1	美国土壤保持局 CN_1
休闲地	85.2	71.4
玉米(行作)	79.5	64.3
豆类作物(传统耕作)	86.3	53.0
灌木林地(盖度<50%)	76.4	47.9
灌木林地(盖度50~70%)	74.7	36.3
灌木林地(盖度>70%)	73.8	28.2

China. CATENA, 2007, (69): 31-35.

- [11] Boughton W C A. A review of the USDA SCS curve number method. Australian: Journal Research, 1989, (2): 511-523.
- [12] 贺宝根, 周乃晟, 高效江. 农田非点源污染研究中的降雨径流关系: SCS法的修正. 环境科学研究, 2001, 14(3): 49-51.
- [13] 王英, 黄明斌. 径流曲线法模型参数在黄土地区的优化研究. 水土保持通报. 2008, 28(1): 54-58.
- [14] Shi Z H, Chen L D, Fang N F et al. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges area, China. Catena, 2009, 77(1): 1-7.
- [15] Fu Suhua, Zhang Guanghui, Wang Nan, et al. Initial abstraction ratio in the SCS-CN method in the Loess Plateau of China. Transactions of the ASABE, 2011, 54(1): 163-169.
- [16] 周淑梅, 雷廷武. 黄土丘陵沟壑区典型小流域SCS-CN方法初损率取值研究. 中国农业科学, 2011, 44(20): 4240-4247.
- [17] Huang Mingbin, Gallichand Jacques, Wang Zhanli et al. A modification to the Soil Conservation Service curve number method for steep slopes in the Loess Plateau of China. Hydrology Process. 2006, 20: 579-589.
- [18] Huang Mingbin, Gallichand Jacques, Dong Cuiyun et al. Use of soil moisture data and curve number method for estimating runoff in the Loess Plateau of China. Hydrol. Process., 2007, 21: 1471-1481.
- [19] 罗利芳, 张科利, 符素华. 径流曲线数法在黄土高原地表径流量计算中的应用. 水土保持通报, 2002, 22(3): 58-61, 68.
- [20] 符素华, 王向亮, 王红叶, 等. SCS-CN 径流模型中 CN 值确定方法比较研究. 干旱区地理, 2012, 315(3): 415-421.
- [21] 张钰娴, 穆兴民, 王飞. 径流曲线数模型(SCS-CN)参数 λ 在黄土丘陵区的率定. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 124-128.
- [22] 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. 干旱区资源与环境, 2008, 22(8): 67-70.
- [23] 房孝铎, 王晓燕, 欧洋. 径流曲线数法(SCS法)在降雨径流量计算中的应用: 以密云石匣径流试验小区为例. 首都师范大学学报(自然科学版), 2007, 28(1): 89-92.
- [24] 霍亚贞, 杨作民. 北京市自然地理. 北京: 北京师范学院出版社, 1989, 202-210.
- [25] Soil Survey Staff. Soil survey manual. United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service. Archived from the original on 2006-02-06. Retrieved 2006-06-21.

The runoff curve number of SCS-CN method in Beijing

FU Suhua¹, WANG Hongye¹, WANG Xiangliang², YUAN Aiping³, LU Bingjun³

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Department of Chinese language and Literature, Anshan Normal College, Anshan 114007, Liaoning, China; 3. Beijing Soil and Water Conservation Center, Beijing 100038, China)

Abstract: Soil Conservation Service curve number (SCS-CN) is widely used to calculate runoff because it only needs one parameter — runoff curve number (CN) which reflects the soil and landuse characteristics. The purpose of this study is to identify the curve number in the SCS-CN method in Beijing. The rainfall and runoff data of 64 runoff plots in three counties of Miyun, Yanqing and Mentougou, were used to calculate runoff curve number. The constant water head method was used to measure the saturated hydraulic conductivity of main soil types and landuse types in Beijing. The empirical equation was used to calculate the saturated hydraulic conductivity of the 64 runoff plots. The saturated hydraulic conductivity was used to determine the hydrologic soil groups of runoff plots in Beijing. The runoff curve numbers under different hydrologic soil groups and landuse types in Beijing were provided. The results show that the hydrologic soil groups could be identified into A and B. The B hydrologic soil group covers most parts of Beijing. The curve number was greatly affected by land use, soil conservation measures, land use cover and antecedent moisture condition. When the other conditions remained unchanged, the curve number obtained from Beijing's runoff plots was greater than that provided by Soil Conservation Service. These results can be served as runoff prediction and landuse management.

Key words: runoff prediction; SCS-CN model; curve number; Beijing