

径流曲线模型(SCS-CN)在延庆典型下垫面中的优化及应用

李志梅

(北京市延庆区水务局 水土保持管理站, 北京 102100)

摘要:【目的】优化CN值构建SCS-CN_P模型,探讨SCS-CN_P模型在延庆地区典型下垫面条件下的适用性。【方法】以延庆区7种典型下垫面为研究对象,利用研究区长期观测的降水-径流数据,采用多元回归线性回归法,基于场降水量构建CN值估算方法并改进SCS-CN模型,并探究改进CN值后的模型(SCS-CN_P)在不同下垫面中的适应性。【结果】①基于标准SCS-CN模型,7种不同下垫面条件(T1—T7处理)下的径流实测值整体低于模拟值;②改进的SCS-CN_P模型在不同下垫面中的总体应用效果优于标准SCS模型;③改进SCS-CN_P模型在休耕地下垫面条件下的模拟精度依次优于林地、耕地。【结论】标准SCS-CN模型不适用于延庆区典型下垫面条件下的径流模拟,改进后的SCS-CN_P模型在延庆区典型下垫面条件下的径流模拟具有良好的适应性。

关键词: SCS-CN模型; 径流计算; 径流曲线数; 模型改进; 延庆区

中图分类号: TV211.1

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022112

OSID:



李志梅. 径流曲线模型(SCS-CN)在延庆典型下垫面中的优化及应用[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(2): 103-109.

LI Zhimei. An Optimized SCS-CN Method to Calculate Runoff over Different Underlying Surfaces in Yanqing District of Beijing[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(2): 103-109.

0 引言

【研究意义】径流指降水及冰雪融水在重力作用下沿地表或地下流动的水流,降水是形成径流的首要因素,而坡面侵蚀的主要动力来自降水及由此而产生的径流^[1],因此,开展径流水文模拟的相关研究,是进行产流预报、土壤侵蚀预报的重要基础。【研究进展】随着科技水平的提高以及人们对水资源保护与利用的重视,国内外学者提出了多种水文模型,如SHE模型^[2]、VIC模型^[3]、SWAT模型^[4-5]、新安江模型^[6-7]、水箱模型^[8]、SCS-CN径流曲线模型等^[9],其中SCS-CN(Soil Conservation Service Curve Number)模型于20世纪50年代由美国农业部水土保持局根据当地环境开发^[9-10],该模型突出的特点是计算过程简单、所需参数较少,并且综合考虑了流域降水、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,被广泛应用于径流估算研究中。目前国内学者对该模型的研究主要集中于以下2个方面:第一,地表径流预测,例如高扬等^[9]运用SCS模型对紫色土坡地降水-径流量进行了估算,结果表明该模型在紫色土流域径流量的估算中具有较高的可行性;李亦然等^[10]基于优化后的SCS模型对鲁中南低丘陵区地表径流

进行了模型预测;第二,模型参数改进,例如李伯骥等^[11]以天山北坡云杉森林各类径流小区的观测数据为基础,对CN值进行了反算,并对CN值进行了优化筛选,通过率定获得了各林分条件下径流观测小区的最优CN值;袁文锐等^[12]利用南京竹笋产业化集中的高淳地区的实测降水和径流数据对SCS模型进行了修正,得到适用于研究区域的降水-径流预测模型。综上,国内学者对我国部分地区开展了不同下垫面CN值算法和取值的研究,但由于我国气候类型多样,土地利用类型复杂,同时限于模型结构特点,已有研究成果不足以支撑已研究区域外的地表径流模拟,多数研究需根据应用区域的实际情况,对模型中的CN值进行率定获取,因此继续开展SCS-CN模型的参数本地化研究仍是该领域重点关注的问题之一。

北京市延庆区在我国水土保持区划中属于北方土石山区-燕山及辽西山地丘陵区-燕山山地丘陵水源涵养生态维护区,水源涵养及保护利用是当地水资源管理的重要目标。【切入点】近年来,SCS-CN模型由于其计算过程简单、所需参数较少等优点,已发展为比较理想且有效的区域径流估算工具,并在国内很多区域的径流估算和防洪评价研究中均具有良好效果^[13-14]。然而,目前在北京市延庆区应用SCS-CN对区域不同下垫面条件下的径流估算研究甚少。【拟解决的关键问题】本研究以北京市延庆区上辛庄径流观测场内典

收稿日期: 2022-03-06

作者简介: 李志梅(1974),女,高级工程师,主要从事水土保持监测与评价方面的研究。E-mail: 3268348612@qq.com

型土地利用下垫面为研究对象, 利用研究区长期实际观测的降水-径流数据, 构建基于降水量的 CN 值估算方法, 据此优化 SCS-CN 模型并加以验证, 分析获取典型农林下垫面条件下的 CN 值, 经过筛选、优化和率定, 构建当地适宜 CN 值参数体系, 为该地区径流估算、水资源合理调配及水土流失防治提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

延庆区隶属北京市, 地理坐标位于东经 115°44'—116°34', 北纬 40°16'—40°47', 地处北京市西北部; 东邻怀柔区, 西与河北省怀来县接壤, 南接昌平区, 北与河北省赤城县相邻, 城区距北京德胜门 74 km, 延庆区以山地为主, 平均海拔 500 m 以上。该区气候类型为典型的暖温带气候, 多年平均气温为 10.8 °C, 其中最高气温出现在 7 月, 平均气温为 26.9 °C; 最低月在 1 月, 平均气温为 -7.2 °C。多年均降水量为 454 mm, 7、8 月的降水量约占全年降水量的 59% 左右。延庆区属北方土石山区, 作为国家级生态示范县和首都生态涵养发展区, 该区林业用地面积较大, 主要乔木种类有刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.)、油松 (*Pinus tabuliformis* Carriere)、侧柏 (*Platycladus orientalis* L. Franco) 等, 以及核桃 (*Juglans regia* L.)、杏 (*Armeniaca vulgaris* Lam.) 等干鲜果经济林。延庆区农业开发历史悠久, 主要农作物为玉米等。据北京市 2020 年水土保持公报公开的数据显示, 延庆区水土流失面积为 252.58 km², 占土地总面积的 12.65%, 以轻度侵蚀为主。

1.2 SCS-CN 模型原理

SCS-CN 模型是基于水量平衡 (式 (1)) 提出

的适用于小流域径流模拟的水文模型, 基本原理是通过绘制总径流量和总降水量之间的关系来描述流域的水文状况, 该模型有 2 个主要的假设。第 1 个假设是在降水形成径流时, 实际地表径流量 (Q) 与单次总降水量 (P) 的比例等于实际入渗量 (F) 与土壤可能最大保持水量 (S) 的比例, 如式 (2) 所示^[15]。第 2 个假设是降水初损量 (I_a) 与土壤可能最大保持水量 (S) 成正比关系 (式 (3))。

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

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

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

式中: P 为单次降水量 (mm); Q 为实际径流深 (mm); I_a 为初损量 (mm); S 为土壤可能最大保持水量 (mm); λ 为初损系数, 本研究取 $\lambda=0.2$ 。

S 可由径流曲线数 CN 表示, 即:

$$S=\frac{25400}{CN}-254. \quad (4)$$

当降水和径流数据同时获取时, 即可通过式 (2)、式 (3)、式 (4) 对 CN 值进行反算, 得到 CN 表达式, 即:

$$CN=\frac{25400}{S+254}. \quad (5)$$

1.3 数据来源

本研究以 7 种不同特征下垫面 2001—2021 年降水、径流实测数据为基础资料。其中采用 HOBO 雨量监测站 (Onset, 美国) 测定降水量, 设备可对降水进行自动记录、传输; 径流量通过径流小区分流桶进行观测。7 种不同下垫面处理基本情况如表 1 所示。

表 1 各试验小区基本情况

Table 1 Basic information of each experimental community

处理	工程措施 种类	生物措施 种类	植物种类	标准径流 曲线数	观测小区 数量	观测年限	观测降水 次数	观测产流 次数
T1	树盘	经济林	核桃 (<i>Juglans regia</i> L.)	70	3	2001—2012 年	294	408
T2	水平条	经济林	核桃 (<i>Juglans regia</i> L.)	70	1	2001—2021 年	703	165
T3	无	水保林	侧柏 (<i>Platycladus orientalis</i> L. Franco)	70	1	2001—2012 年	294	106
T4	鱼鳞坑	水保林	侧柏 (<i>Platycladus orientalis</i> L. Franco)	70	1	2014—2021 年	409	35
T5	无	玉米	玉米 (<i>Zea mays</i> L.)	85	1	2001—2012 年	294	110
T6	梯田	玉米	玉米 (<i>Zea mays</i> L.)	78	1	2014—2021 年	409	45
T7	休耕	无	绣线菊 (<i>Spiraea salicifolia</i> L.)、 荆条 (<i>Vitex negundo</i> L. var. <i>heterophylla</i> (Franch.) Rehd.)、 白草 (<i>Pennisetum flaccidum</i> Grisebach)	91	2	2001—2012 年	294	211

本研究分别于 2012 年 7 月和 2021 年 7 月采用双环法, 以定水头法依次测定各小区内的土壤稳定入渗速率, 据此判定所属 SCS 水文土壤组类型, 结

合产流前降水量等, 查询美国农业部-SCS 国家工程手册^[16], 获取到各小区的标准 CN 值, 各小区详细情况如表 1 所示。

1.4 模型优化与评价

1.4.1 模型优化

本研究基于各试验小区多年降水量与径流实测数据, 通过式 (5) 推算出 T1—T7 处理的 CN 值, 同时, 以观测时间序列中奇数次降水场次的径流-降水数据作为率定期建模数据, 结合 SPSS 软件, 构建各试验小区 CN 值与降水量 P 之间的统计关系, 据此推导出 CN 值的表达式, 将表达式带入 SCS 模型, 并选取观测时间序列中偶数次降水场次径流-降水数据作为验证期建模数据, 验证基于优化 CN 值的 SCS-CN 模型 (以下称 SCS-CN_p 模型) 在不同下垫面的模拟精度。

1.4.2 模型评价

本研究选择 Nash-Sutcliffe 效率系数 (NSE)、均方根误差 ($RMSE$) 和决定系数 (R^2) 作为模型参数率定期和验证期模拟精度变化的评价指标。

NSE 值越接近于 1, 表明模拟值与实测值越吻合。计算式为:

$$NSE=1-\frac{\sum_{i=1}^n(Q_i-P_i)^2}{\sum_{i=1}^n(Q_i-\bar{Q})^2}, \quad (6)$$

式中: Q_i 为第 i 次降水的实测径流深 (mm); P_i 为

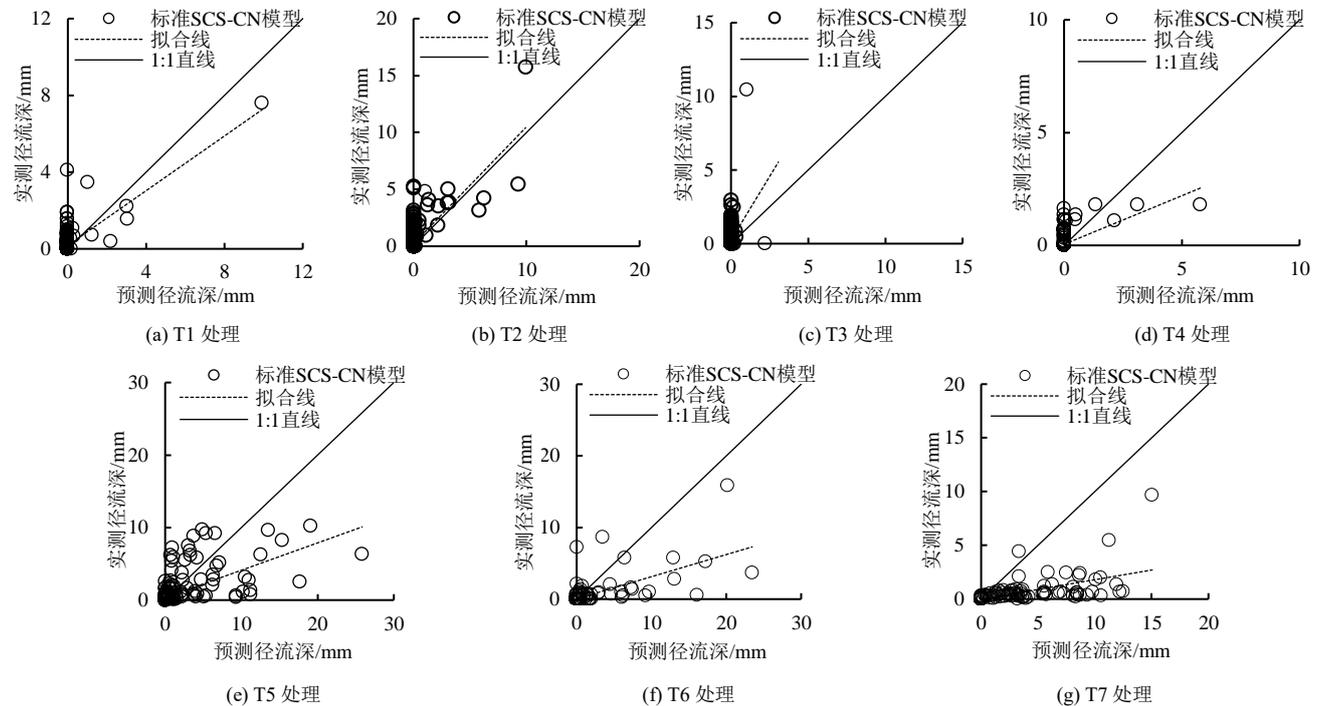


图 1 标准 SCS-CN 模型预测径流深和实际径流深对比

Fig.1 Comparison between predicted runoff depth and actual runoff depth of standard SCS-CN model

2.2 SCS-CN_p 模型参数率定

基于各处理小区降水-径流实测资料, 通过式 (5) 推算出 T1—T7 处理小区的 CN 值, 构建 CN 值与降水量 P 之间的统计关系, 如表 2 所示。T1—T7 处理小区 CN 值与降水量之间的决定系数 R^2 均在 0.75 以上, 其中 T7 处理 CN 值与降水量之间的决定系数 R^2 最高, 为 0.9377。

第 i 降水的预测径流深 (mm); \bar{Q} 为平均实测径流深 (mm)。

$RMSE$ 可以表示样本的平均差值, 是模型精度的最佳总体测度, 其值越小说明预测值相对于实测值偏差越小。

2 结果与分析

2.1 基于标准 SCS-CN 模型的径流估算

使用标准 SCS-CN 模型估算不同下垫面处理的径流深, 将模拟径流深与实测径流深进行对比, 结果如图 1 所示。除 T2、T3 处理, 其他下垫面处理小区的模拟径流深与实测径流深所对应的点多分布于 1:1 直线之下, 线性拟合线斜率小于 1, T2 处理的线性拟合线较接近于 1:1 直线, T3 处理线性拟合线斜率大于其他处理, 这表明除 T2、T3 处理外, 标准 SCS-CN 模型估算的不同下垫面处理小区的径流实测值多小于模拟值, 与其他处理相比, T4 处理模型模拟值与实测值之间的偏差较大, T2 处理模型模拟值与实测值偏差较小, 相关模型精度评价指标均表明, 标准 SCS-CN 模型在 T2 处理的模拟效果较好 (表 3)。

根据改进 CN 值后的 SCS-CN_p 模型估算率定期不同下垫面的径流深, 如图 2 所示。模型率定期间, T1、T2、T3、T6 处理的径流实测值与模拟值的散点多分布于 1:1 直线的下方, 且拟合趋势线斜率小于 1, 而 T4、T6、T7 处理的径流实测值与模拟值的散点多分布于 1:1 直线的上方, 这表明 SCS-CN_p 在 T1、T2、T3、T6 处理处理中的模拟结果呈大于

实测值（径流深）的趋势，T4、T6、T7 处理则呈相反趋势。

由表 3 可知，在率定期，与标准 SCS-CN 模型相比，SCS-CN_P 模型在 T1—T7 处理中的模拟精度明显提高，其中，T1 处理的 SCS-CN_P 模型 R^2 提高到 0.606 8， NSE 提高到 0.572 8， $RMSE$ 降低至 0.275 5；T2 处理的 SCS-CN_P 模型决定系数 R^2 大于 0.7，有明显提高， NSE 由负值提高到 0.7 以上， $RMSE$ 降低到 0.353 8；T3 处理的 SCS-CN_P 模型决定系数 R^2 提高至 0.592 3， NSE 更接近 1， $RMSE$ 更接近 0；T4 处理的 SCS-CN_P 模型决定系数 R^2 提高到 0.7 以上， NSE 提高到 0.695 6， $RMSE$ 更接近 0；T5 处理的 SCS-CN_P 模型决定系数 R^2 增加到 0.566 9， NSE 由负值变为正值， $RMSE$ 更接近 0；T6 处理的 SCS-CN_P 模型决定系数 R^2 值提高， NSE 更接近 1， $RMSE$ 更接近 0；

T7 处理的 SCS-CN_P 模型决定系数 R^2 提高至 0.746 4， NSE 更接近 1， $RMSE$ 更接近 0。综上可知，与标准 SCS-CN 模型相比，模型率定期 SCS-CN_P 模型在不同下垫面条件下的模拟精度均显著提高。

表 2 不同下垫面 CN 值拟合方程及取值

Table 2 CN value fitting equation and value of different underlying surfaces

处理	拟合方程式	R^2
T1	$CN = -0.596P + 91.901$	0.833 1
T2	$CN = -0.498P + 90.403$	0.870 0
T3	$CN = -0.6841P + 94.076$	0.861 0
T4	$CN = -0.8838P + 96.675$	0.882 1
T5	$CN = -0.7438P + 96.507$	0.757 2
T6	$CN = -0.7933P + 96.541$	0.799 2
T7	$CN = -1.0233P + 97.702$	0.937 7

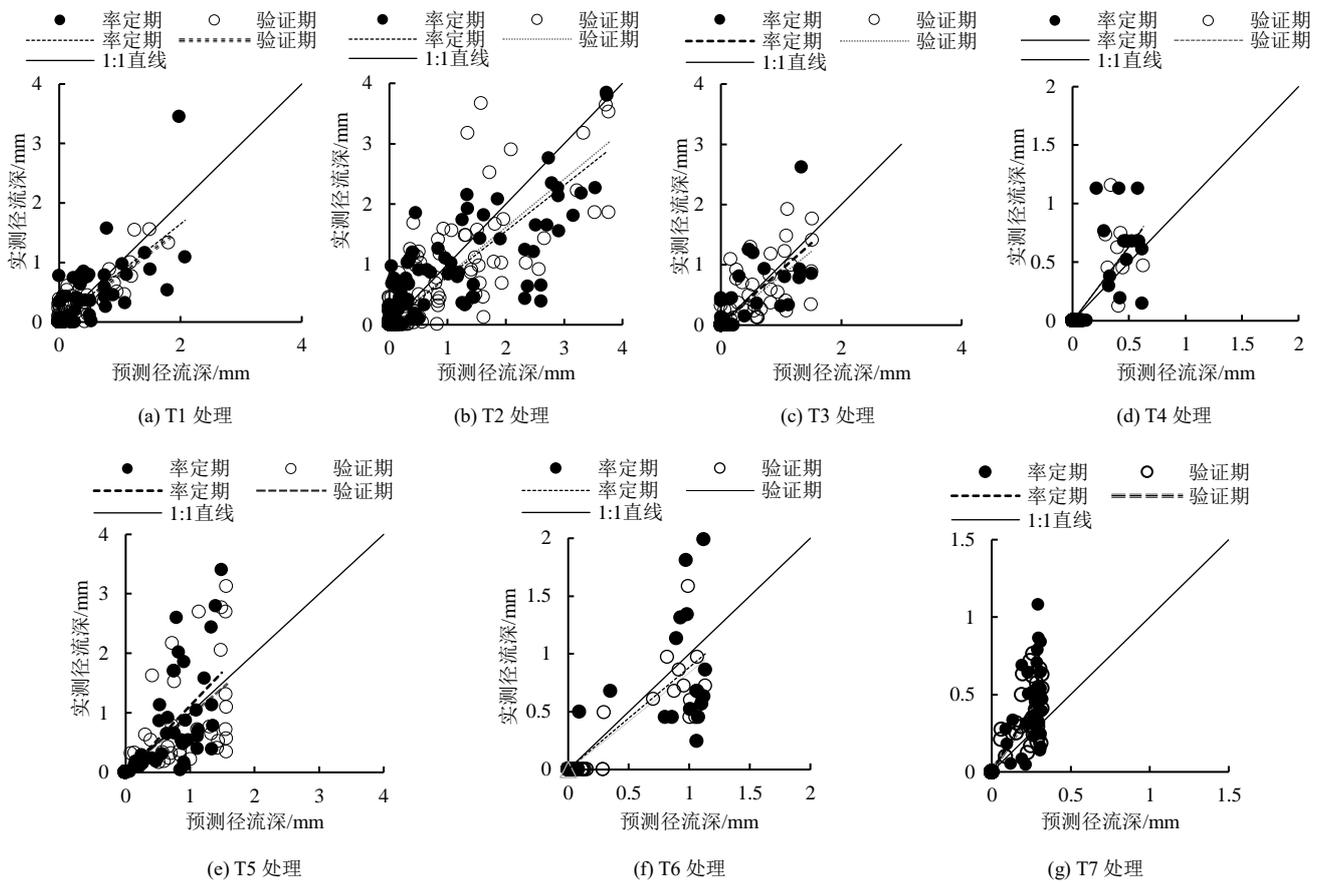


图 2 SCS-CN_P 模型率定期和验证期预测径流深和实测径流深对比

Fig.2 Comparison between predicted runoff depth and measured runoff depth of SCS-CN_P model in regular and validation periods

SCS-CN_P 模型在不同下垫面条件下的模拟精度存在明显差异，对比 T1—T7 处理可知，率定期 SCS-CN_P 模型在不同下垫面的模拟精度表现为休耕地（T7 处理）>林地（T3、T4 处理）>园地（T1、T2 处理）>耕地（T5、T6 处理）。不同工程措施条件下的模拟精度也存在一定差异。比较均种植核桃的 T1 处理（有树盘措施）、T2 处理（有水平条措施）发

现，SCS-CN_P 模型在有水平条措施条件下的决定系数 R^2 、 NSE 分别为 T1 处理的 1.27、1.22 倍；比较均种侧柏林的 T3 处理（无措施）、T4 处理（鱼鳞坑）可以发现，SCS-CN_P 模型在有鱼鳞坑措施条件下的决定系数 R^2 、 NSE 、 $RMSE$ 分别为无工程措施（T3 处理）的 1.20、1.19、0.18 倍，即 SCS-CN_P 模型在不同工程措施条件下表现出显著的模拟精度差异。

表 3 不同下垫面 SCS-CN_p 模型率定期和验证期的评价指标Table 3 Evaluation indicators of SCS-CN_p model rate and validation period of different underlying surfaces

处理	模型类型	线性拟合方程	R^2	NSE	$RMSE$
T1	标准 SCS-CN 模型	$Q_{\text{实测}}=0.7125Q_{\text{预测}}+0.1834$	0.5268	0.3784	0.5095
	SCS-CN _p 模型（率定期）	$Q_{\text{实测}}=0.8093Q_{\text{预测}}+0.0283$	0.6068	0.5728	0.2755
	SCS-CN _p 模型（验证期）	$Q_{\text{实测}}=0.771Q_{\text{预测}}+0.017$	0.8031	0.7296	0.1483
T2	标准 SCS-CN 模型	$Q_{\text{实测}}=1.0279Q_{\text{预测}}+0.2183$	0.5111	0.4556	0.6923
	SCS-CN _p 模型（率定期）	$Q_{\text{实测}}=0.7601Q_{\text{预测}}+0.0309$	0.7718	0.7016	0.3538
	SCS-CN _p 模型（验证期）	$Q_{\text{实测}}=0.796Q_{\text{预测}}+0.0237$	0.7175	0.7355	0.3225
T3	标准 SCS-CN 模型	$Q_{\text{实测}}=1.7266Q_{\text{预测}}+0.2386$	0.1088	-0.0126	0.7844
	SCS-CN _p 模型（率定期）	$Q_{\text{实测}}=0.887Q_{\text{预测}}+0.0259$	0.5923	0.5812	0.2310
	SCS-CN _p 模型（验证期）	$Q_{\text{实测}}=0.8019Q_{\text{预测}}+0.0161$	0.6202	0.5787	0.2488
T4	标准 SCS-CN 模型	$Q_{\text{实测}}=0.4305Q_{\text{预测}}+0.048$	0.3403	-0.2676	0.2930
	SCS-CN _p 模型（率定期）	$Q_{\text{实测}}=1.2715Q_{\text{预测}}-0.0041$	0.7115	0.6956	0.0961
	SCS-CN _p 模型（验证期）	$Q_{\text{实测}}=1.2888Q_{\text{预测}}-0.0035$	0.6815	0.7922	0.0437
T5	标准 SCS-CN 模型	$Q_{\text{实测}}=0.448Q_{\text{预测}}+0.4936$	0.2134	-0.1151	2.0506
	SCS-CN _p 模型（率定期）	$Q_{\text{实测}}=1.1341Q_{\text{预测}}-0.0135$	0.5669	0.5566	0.4784
	SCS-CN _p 模型（验证期）	$Q_{\text{实测}}=0.9239Q_{\text{预测}}+0.0308$	0.5128	0.5093	0.5124
T6	标准 SCS-CN 模型	$Q_{\text{实测}}=0.5262Q_{\text{预测}}+0.0721$	0.4282	0.0676	1.0691
	SCS-CN _p 模型（率定期）	$Q_{\text{实测}}=0.8798Q_{\text{预测}}+0.0039$	0.7133	0.7155	0.1358
	SCS-CN _p 模型（验证期）	$Q_{\text{实测}}=0.8434Q_{\text{预测}}-0.0067$	0.6990	0.8493	0.2144
T7	标准 SCS-CN 模型	$Q_{\text{实测}}=0.1172Q_{\text{预测}}+0.1226$	0.1308	-8.2418	2.5033
	SCS-CN _p 模型（率定期）	$Q_{\text{实测}}=1.6614Q_{\text{预测}}+0.0015$	0.7464	0.5837	0.1488
	SCS-CN _p 模型（验证期）	$Q_{\text{实测}}=1.5415Q_{\text{预测}}+0.004$	0.7793	0.6480	0.1124

2.3 SCS-CN_p 模型验证

如图 2 所示，与率定期规律相同，在模型验证期，T1、T2、T3、T6 处理的径流实测值与模拟值的散点多分布于 1:1 直线的下方，T4、T6、T7 处理的径流实测值与模拟值的散点多分布于 1:1 直线的上方，表明验证期 SCS-CN_p 模型在 T1、T2、T3、T6 处理处理中的模拟结果呈大于实测值的趋势，在 T4、T6、T7 处理中的模拟结果均小于实测值。由表 3 可知，与标准 SCS-CN 模型相比，验证期 SCS-CN_p 模型在 T1—T7 处理小区的模拟精度有明显提高，决定系数 R^2 均有明显提高，纳什效率系数 NSE 更接近 1，均方根误差 $RMSE$ 更接近 0。与 SCS-CN_p 模型率定期相比，模型验证期 T1、T3、T7 处理小区的決定系数 R^2 分别提高至 0.8031、0.6202、0.7793，T2、T4、T5、T6 处理的決定系数 R^2 略有降低，T1、T2、T4、T6、T7 处理 NSE 均有提高，T1、T2、T4、T7 处理的 $RMSE$ 有所降低。综上所述，SCS-CN_p 模型在本文研究区域的径流预测精度有明显提高。

就不同土地利用类型的模拟精度而言，SCS-CN_p 模型在验证期的模拟精度表现规律与模型率定期相同，主要表现为休耕地（T7 处理）>林地（T3、T4 处理）>园地（T1、T2 处理）>耕地（T5、T6 处理）。

3 讨论

本研究使用定水头法测得研究区水文土壤组，结果表明，观测场所在区域水文土壤组为 B 组，这与范彩霞等^[17]在北京大红门流域的研究结果相同。与美国

农业部-SCS 国家工程手册获取的 CN 值相比，除 T7 处理外，优化后的不同下垫面的 CN 值均不同程度增大，此结果与符素华等^[18]在密云和延庆地区的研究结果相同，其原因可能为径流小区所属水文土壤组等方面的较为接近。相同土地利用条件下，工程措施的有无和工程措施的种类对产流也有明显影响^[19]。比如，T5、T6 处理小区均为耕地，种植作物均为玉米，但 T5 处理小区在观测的 294 场降水中，产流 110 次，而 T6 处理小区在观测的 409 次降水中仅产流 45 次，其主要原因就是 T6 处理小区存在梯田工程措施，T5 处理小区没有任何工程措施。这表明工程措施的存在能有效地抑制地表产流，这与胡晓静等^[19]在北京山区径流模拟研究结果相同。

本文对林地的模拟研究中，对不同土地利用的模拟结果表明，优化后的 SCS-CN_p 模型对延庆区不同土地利用方式的径流深模拟精度表现为：休耕地模拟精度最高，其次为林地、园地，在耕地中的模拟精度最低，其原因可能为休耕地受人为因素干扰少，同时下垫面较为简单，因而模型在此地类中模拟精度较高；而林地虽受人为因素干扰较少，但其下垫面较为复杂，模拟的精度受林下植被、枯落物等因素的影响，所以模拟精度低于在休耕地的模拟精度；园地受人为因素（如灌溉、施肥、翻耕等）干扰也较大，模拟精度也较低；耕地受人为因素影响最大，其模拟精度相应也最低，这与曹文华等^[20]对赤松林地和刺槐林地的模拟结果相似。

本研究中，基于优化后的 SCS-CN_p 模型预测的

部分产流事件中,对应的实测产流量为 0 mm。其主要原因可能是目前国内大部分相关研究中将 SCS-CN 模型计算中初损系数假定为 0.2,模拟的穿透降水偏小,进而导致地表产流模拟量偏低。通过研究不同降水量条件下的初损系数动态变化规律是今后模型优化的可行的探索方向之一。

4 结论

1) 基于美国农业部-SCS 国家工程手册获取 CN 值,标准 SCS-CN 模型不适用于延庆区典型下垫面的径流模拟,模拟结果较差。

2) 经过改进 SCS-CN_P 模型在率定期和验证期在不同下垫面中的模拟精度均明显高于标准 SCS-CN 模型。模型率定期和验证期内,不同土地利用类型的模拟结果有明显差异,优化后的 SCS-CN_P 模型的模拟精度表现为休耕地>林地>园地>耕地。

参考文献:

- 林军,倪伟,宋传松,等.北方土石山区不同坡长径流小区水土流失规律研究[J].水土保持应用技术,2009(3):7-9.
- 肖森元,杨广,何新林,等.玛纳斯河流域 MIKE SHE 水文模型率定[J].山地学报,2021(1):1-9.
XIAO Senyuan, YANG Guang, HE Xinlin, et al. Calibration of hydrological modelling by MIKE SHE for the manas river basin, Xinjiang, China[J]. Mountain Research, 2021(1): 1-9.
- 杜婷婷,郭梦京,张晋梅,等. VIC 模型在西江流域的水文模拟及其应用[J].水土保持研究,2021,28(5):121-127.
DU Tingting, GUO Mengjing, ZHANG Jinmei, et al. Hydrological simulation and application of VIC model in Xijiang River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(5): 121-127.
- QI J Y, ZHANG X S, YANG Q C, et al. SWAT ungauged: Water quality modeling in the upper Mississippi River Basin[J]. Journal of Hydrology, 2020, 584: 124-601.
- 罗映雪,徐长春,杨秋萍,等.基于 SWAT 模型的开都河上游未来土地利用变化对径流的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(11):100-108.
LUO Yingxue, XU Changchun, YANG Qiuping, et al. Influence of future land use change on runoff in the upper reaches of Kaidu river based on SWAT model[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(11): 100-108.
- GONG J F, YAO C, LI Z J, et al. Improving the flood forecasting capability of the Xin'anjiang model for small- and medium-sized ungauged catchments in South China[J]. Natural Hazards, 2021, 106(3): 2 077-2 109.
- 王红艳,王新春,周倩,等.新安江模型参数线性化率定研究[J].水力发电,2022,48(1):24-30.
WANG Hongyan, WANG Xinlong, ZHOU Qian, et al. Research on the linearizing method of parameter calibration for Xin'anjiang model[J]. Water Power, 2022, 48(1): 24-30.
- 孙娜,周建中,张海荣,等.新安江模型与水箱模型在柘溪流域适用性研究[J].水文,2018,38(3):37-42.
SUN Na, ZHOU Jianzhong, ZHANG Hairong, et al. Application of Xin'anjiang model and tank model in Zhexi Basin[J]. Journal of China Hydrology, 2018, 38(3): 37-42.
- 高扬,朱波,缪驰远,等. SCS 模型在紫色土坡地降雨径流量估算中的运用[J].中国农学通报,2006,22(11):396-400.
GAO Yang, ZHU Bo, MIAO Chiyuan, et al. Application of SCS model to estimate the volume of rainfall runoff in sloping field of purple soil[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(11): 396-400.
- 李亦然,张兴刚,程甜甜,等. SCS 模型在鲁中南低山丘陵区径流估算中的优化及应用评价[J].中国水土保持科学,2019,17(2):112-120.
LI Yiran, ZHANG Xinggang, CHENG Tiantian, et al. Optimization of SCS model to estimate runoff in the mid-southern hilly region of Shandong Province and evaluation of applying it[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2019, 17(2): 112-120.
- 李伯骥,常顺利,张毓涛. SCS 模型中 CN 值的优化率定方法:以天山北坡云杉森林为例[J].中国农村水利水电,2018(8):72-76.
LI Bofei, CHANG Shunli, ZHANG Yutao. The estimation of CN parameter for small mountain forest watershed by SCS method[J]. China Rural Water and Hydropower, 2018(8): 72-76.
- 袁文锐,庄力,张东辉,等.模拟降雨条件下不同管理方式的雷竹林地产流产沙动态变化和对 SCS 模型的修正[J].东北林业大学学报,2020,48(8):42-49.
YUAN Wenrui, ZHUANG Li, ZHANG Donghui, et al. Runoff and sediment yield of *Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis* forest and modification of SCS model under simulated rainfall conditions and different management methods[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2020, 48(8): 42-49.
- 张涛,訾丽,杨文发,等. SCS 模型在山区小流域山洪灾害预报预警中的适用性分析[J].长江科学院院报,2021,38(9):71-76.
ZHANG Tao, ZI Li, YANG Wenfa, et al. Applicability of SCS model in flash flood forecasting and early warning[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2021, 38(9): 71-76.
- 栾承梅,王军,仇少鹏. SCS 模型在黑林地区的应用研究[J].江苏水利,2018(11):41-45,52.
LUAN Chengmei, WANG Jun, QIU Shaopeng. Application research of SCS model in Heilin area[J]. Jiangsu Water Resources, 2018(11): 41-45, 52.
- 叶盛.石羊河流域 SCS CN 模型建模与分析[D].武汉:华中科技大学,2018.
YE Sheng. Shiyang River Basin SCS CN model modeling and analysis[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2018.
- AL-GHOBARI H, DEWIDAR A, ALATAWAY A. Estimation of surface water runoff for a semi-arid area using RS and GIS-based SCS-CN method[J]. Water, 2020, 12(7): 1 924.
- 范彩霞,王少丽,路明,等. SCS 模型在大红门流域径流量计算中的应用[J].人民珠江,2019,40(11):16-20.
FAN Caixia, WANG Shaoli, LU Ming, et al. Application of SCS model for calculation of the rainfall runoff in Dahongmen River Basin[J]. Pearl River, 2019, 40(11): 16-20.
- 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.
FU Suhua, WANG Xiangliang, WANG Hongye, et al. Method of determining CN value in the SCS-CN method[J]. Arid Land Geography, 2012, 35(3): 415-421.
- 胡晓静,吴敬东,张耀方,等.北京山区 SCS 模型参数研究[J].中国给水排水,2018,34(3):125-128.
HU Xiaojing, WU Jingdong, ZHANG Yaofang, et al. Study on parameters of SCS model in Beijing mountainous area[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(3): 125-128.
- 曹文华,李亦然. SCS 模型在鲁中南丘陵区典型林分中的优化及应用[J].中国水土保持,2021(6):34-38,5.
CAO Wenhua, LI Yiran. Optimization and application of SCS model for typical forest stand in the hilly region of south-central Shandong Province[J]. Soil and Water Conservation in China, 2021(6): 34-38, 5.

An Optimized SCS-CN Method to Calculate Runoff over Different Underlying Surfaces in Yanqing District of Beijing

LI Zhimei

(Water and Soil Conservation Management Station of Yanqing District Water Bureau of Beijing, Beijing 102100, China)

Abstract: **【Objective】** The soil conservation service curve number (SCS-CN) method is an empirical model developed in the 1950s to estimate event-based rainfall-runoff response. We propose an optimized SCS-CN in this paper and apply it to calculate runoffs in different underlying surfaces in Yanqing District of Beijing. **【Method】** Seven different underlying surfaces were selected, and long-term measured rainfall and runoff from each is used to establish and validate the improved SCS-CN model. **【Result】** ①The results calculated using the standard SCS-CN model are higher than the measured values from all seven underlying surfaces. ②The improved SCS-CN model is more accurate than the standard SCS model to reproduce the measured data. ③The improved SCS-CN model is most accurate for estimating runoffs in fallow land, followed by forest land and cultivated land. **【Conclusion】** The standard SCS-CN model is not suitable for calculating runoff in the seven underlying surfaces in Yanqing District of Beijing, and the proposed SCS-CN model significantly improves it.

Key words: SCS-CN model; runoff calculation; runoff curve; model improvement; Yanqing District

责任编辑：白芳芳

（上接第 78 页）

The Combined Effect of Irrigation and Nitrogen Fertilization on Dry Matter and Yield of Rice

PAN Chen, YANG Yu, QI Dongliang*

(College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, China)

Abstract: **【Objective】** Nitrogen uptake and its translocation in crops is modulated by soil water. In this paper, we studied the combined impact of different irrigations and fertilizations on dry matter accumulation and yield of rice.

【Method】 The experiment was carried out in the field, with the variety Liangyou 152 used as the model plant. The experiments consisted of two irrigation methods: conventional irrigation (CF) and alternating wet and dry irrigation (AWD). For each irrigation method, there were three nitrogen applications: 240 kg/hm² of traditional urea (N1), 144 kg/hm² controlled-release urea + 96 kg/hm² traditional urea (N2), and 240 kg/hm² controlled-release urea (N3). For each treatment, we measured the change in *SPAD* in the leaves, plant height and the total numbers of heads, dry matter accumulation in each organ at the panicle extraction and maturity stages, as well as grain yield and its formation. **【Result】** When nitrogen application was the same, AWD increased *SPAD*, crop growth, tillering panicle formation rate, dry matter accumulation and distribution ratio of rice leaves from jointing to filling stages. When irrigation was the same, compared to N1, N2 and N3 increased the stem tillering panicle formation rate, crop growth rate, dry matter accumulation, the numbers of grains per panicle, 1 000-grain weight, fruiting rate and grain yield; the yield of N2 was higher than that of N3. Overall, AWD+N2 increased *SPAD*, stem tiller panicle rate, crop growth rate, dry matter accumulation, harvest index, panicle number, 1 000-grain weight, seed setting rate, and grain yield of rice, compared with other treatments. **【Conclusion】** Alternating wet and dry irrigation combined with fertilization of 144 kg/hm² controlled-release urea and 96 kg/hm² traditional urea is most effective to reduce ineffective tillering, improve nitrogen in the crop, and promote dry matter accumulation and its translocation to rice grains.

Key words: rice; alternate wetting and drying irrigation; controlled-release urea; harvest index; dry matter

责任编辑：白芳芳