

# 鄱阳湖流域不同农业利用方式 土壤径流曲线值的研究

余进祥<sup>1</sup>, 赵小敏<sup>1</sup>, 吕 珩<sup>2</sup>, 刘娅菲<sup>2</sup>

(1. 江西农业大学 作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室, 农业部双季稻生理生态与栽培重点开放实验室, 江西南昌 330045; 2. 江西省农业环境监测站, 江西南昌 330046)

**摘要:** SCS模型是农业非点源污染监测模型的基础模型, 开展模型适用性和参数敏感性分析研究, 可减少模型模拟参数的累积偏差, 提高监测结果的可信度。在鄱阳湖流域内, 对具有代表性的水田、水旱轮作、旱地、菜地、果园等优势农业利用方式的降雨量和径流量进行全年定点监测, 测定不同农业利用方式下土壤的径流曲线值(CN), 分析施肥、土壤质地及利用方式对土壤径流曲线值的影响, 评价 SCS模型在鄱阳湖区域运用的有效性, 是开展鄱阳湖流域非点源污染监测和评估的基础。结果表明: 不同土地利用方式下, 水田、水旱轮作、菜地、旱地、果园、茶园等农业种植模式土壤的径流曲线值(土壤湿度中等)分别为 71~74、66~73、48~58、47~61、42~48、39。除降水强度等自然条件外, 农业利用方式和土壤质地是影响土壤径流曲线值(CN)的主要因子。施肥对多年生作物种植模式土壤径流曲线值没有显著影响, 对 1年生作物种植模式土壤径流曲线值影响显著。农业利用方式不同, SCS模型有效性最佳时的径流初损值  $I_a$  不同,  $I_a = 0.2S$  时, SCS模型对水田径流模拟的有效性最好;  $I_a = 0.3S$  时, 模型对水旱轮作和旱地地表径流模拟的有效性最好;  $I_a = 0.1S$  时, 模型对园地地表径流模拟的有效性最好。

**关键词:** SCS模型; 径流曲线值(CN); 农业利用方式

**中图分类号:** S154.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 - 2286(2010)03 - 0613 - 08

## Effects of Various Agricultural Land - uses on Runoff in the Poyan Lake Watershed

YU Jin-xiang<sup>1</sup>, ZHAO Xiao-min<sup>1</sup>, LU Bei<sup>2</sup>, LV Ya-fei<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education / Key Laboratory of Physiology, Ecology and Cultivation of Double Cropping Rice, Ministry of Agriculture, JAU, Nanchang 330045, China; 2. Agriculture Environment Monitoring Bureau of Jiangxi Province, Nanchang 330046, China)

**Abstract:** The SCS model is a basic component of the agriculture non - point source pollution monitoring models. Studies on model practicability and parameter sensitivity are significant for decreasing accumulation error of model parameters and incredibility of monitoring result in non - point source pollution from agriculture. The runoff Curve Numbers(CN) from different agriculture land - use patterns were determined by monitoring the runoff from rainfall in the Poyang Lake watershed in 2008. Then the effects of land - uses, soil texture, and fertilization on soil CN to seek amending method for soil CN. The research result showed: (1) soil CN of paddy field, rotated land, vegetable land, arid land, orchard and tea garden were 71 - 74, 66 - 73, 48 - 58, 47 -

收稿日期: 2009 - 12 - 31 修回日期: 2010 - 03 - 24

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30960186)

作者简介: 余进祥 (1975 - ), 男, 博士生, 主要从事农业生态环境保护研究, E-mail: Yu - jinxiang@hotmail.com.

61, 42 - 48 and 39, which were the main parameters for monitoring the non - point source pollution from agriculture (2) Besides rainfall factors, land - use patterns and soil texture were the leading factors affecting soil CN. Fertilization may also affect soil CN of annual crops but not affect that of perennial crops such tea and mandarin (3) The availability of application of SCS model for paddy field was optimism when  $Ia$  was 0.2S, that of arid and rotated land were optimism when  $Ia$  was 0.3S, and that of orchard and garden were optimism when  $Ia$  was 0.1S.

**Key words:** SCS model; runoff Curve Number(CN); Land - uses

降雨径流是引起土壤侵蚀的主要动力,也是农业非点源污染负荷输移的主要载体<sup>[11]</sup>,准确监测农区径流量是流域监测的理论基础,水纹径流模型(SCS)是田间尺度和流域尺度监测模型中的首要子模型<sup>[2-9]</sup>。当前,许多先进的农业非点源污染监测模型被我国大量引用和试用,取得了很大的成功<sup>[10-14]</sup>,但大多仅处于直接运用国外成熟机制模型阶段,对模型参数的测定和修正的相关研究不足,造成模型监测结果的不可信,限制了监测模型的推广。因气候、土地利用方式、土壤类型和地形地貌等自然因素的地理差异,在一定程度上影响土壤径流曲线值(CN)等模型参数的空间变异,其变量参数的偏差累积就是导致流域模型监测结果严重不可信的主要原因<sup>[15]</sup>。所以,开展 SCS模型参数的测定和敏感性分析、验证模型的适用性等研究,是开展农业非点源污染流域尺度监测的关键。

鄱阳湖是世界重要湿地和候鸟栖息地,是中国第一大淡水湖,汇纳江西省境内赣江、抚河、信江、饶河、修河等五大河流及环湖小流域的来水,是江西农业非点源污染的最终接纳水体,其水质状况直接反映全省农业非点源污染的现状。在鄱阳湖流域内,监测不同小流域、不同土壤类型、不同农业土地利用方式下,农区自然降水的降雨量和径流量,测算土壤 CN 值,分析土地利用方式、土壤质地、土壤类型、施肥水平对土壤 CN 值的影响,探讨 SCS模型在鄱阳湖各支流小流域内的模拟精度和适用性,是开展鄱阳湖流域农业非点源污染监测和综合评估,建立基于 GIS分布式水文模型的基础。

## 1 方法与材料

### 1.1 监测点的选择

在鄱阳湖各小流域内,选择土壤类型、作物种类、种植制度、耕作方式、栽培模式等具有代表性的 13 个典型地块作为监测点(表 1)。其中水田监测点位 3 个,分别位于赣鄱平原、赣抚平原和吉泰盆地等 3 个水稻优势产区;水旱轮作监测点位 3 个,分别位于永丰、章贡和丰城等水旱轮作典型区域;旱地监测点位 2 个,分别位于赣北棉花优势产区和赣中花生优势产区;果园监测点位 2 个,分别位于南丰蜜桔主产区和赣南脐橙主产区;蔬菜地监测点位 2 个,分别位于永修、乐平等 2 个蔬菜生产优势区;茶园监测点位 1 个,位于婺源绿茶主产区。

### 1.2 试验设计

设置对照和常规耕作 2 个处理,3 次重复,共 6 个小区,其中常规处理(N)按当地农民的生产水平进行正常管理;对照处理(CK)不施肥、不用药,其它耕作措施与常规处理相同。

小区为长方形,水田、旱地和菜地的小区面积  $24\text{ m}^2$ ,规格  $4\text{ m} \times 6\text{ m}$ ;果园和茶园小区面积  $32\text{ m}^2$ ,规格  $4\text{ m} \times 8\text{ m}$ 。小区间和周边保护行用水泥田埂分隔,田埂为砖和混凝土浇筑的  $50\text{ cm}$  墙体,其中地下部分  $30\text{ cm}$ ,地上部分  $20\text{ cm}$ 。径流池规格  $0.8\text{ m} \times 2\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ ,配备抽排池、排水槽、标杆尺、径流收集管(水田和水旱轮作利用方式设 2 个集水口,分别用于晒田期、休闲期和灌溉期)。径流池墙体用混凝土浇筑,并做防渗处理,确保各个径流池、集排水接口都不漏水、不渗水,同时,每个径流池加盖,防止雨水直接进入径流内。详细内容见《全国地表径流监测技术规程》。

### 1.3 监测内容

1.3.1 降雨量监测 在每个监测点位旁,安装量雨器 1 台,监测 2008 全年的自然降雨次数和单次降雨量。一般地,每天 09:00 时记录降水量,作为前 1 d 24 h 的降水量。

1.3.2 径流量监测 每次暴雨停止后 5 h,测量径流池内径流深度,计算各小区的径流量。水田和水旱轮作监测点位,在水田的灌溉期,关闭下排水口,把上排水口调至与灌溉水平齐位置;休闲期和晒田期,则关闭上排水口,打开下排水口。

表 1 监测点位

Tab 1 Monitoring sites

监测点位 Monitoring sites	地址 Location	经纬度 Longitude and latitude	地貌类型 Topography	坡度 Land - scope	土壤类型 Soil group	土壤质地 Soil texture	肥力水平 Fertilizer level	利用类型 Land - use pattem
JXS01	余江县水稻原种场农科所	E116 50 39 1 N28 12 9 6	平原	0	灰潮砂泥田	砂土	中	水田
JXS02	南丰县琴城镇茅店村赵家山	E116 32 23 6 N27 13 56 2	山地	9	红泥质砖红壤	轻壤	中	果园
JXS03	兴国县埠头乡松林村山田组	E115 21 14 3 N26 16 20 4	丘陵	26	红泥质砖红壤	砂壤	低	果园
JXS04	章贡区湖边镇梨园下村组	E114 55 40 N25 50 30	丘陵	0	黄泥砂田	重壤	高	水旱轮作
JXS05	泰和县澄江镇新池村	E114 49 24 4 N26 48 48 9	平原	0	水南紫泥田	中壤	中	水田
JXS06	进贤县罗溪镇莲塘村支家	E116 10 45 N28 23 43	丘陵	10	黄红泥土	中壤	中	旱地
JXS07	乐平市镇桥镇镇桥村黄村组	E117 3 4 5 N28 54 19 2	平原	0	赤红壤性土	砂壤	中	旱地
JXS08	瑞昌市大塘村肖家组	E115 38 25 2 N29 38 52 1	平原	0	潮黄砂土	砂壤	中	旱地
JXS09	永修县虬津镇麻坛村	E115 22 30 N28 53 20	平原	0	灰潮砂泥田	中壤	高	旱地
JXS10	南昌县向塘镇高田村	E115 58 57 6 N28 5 4 3	平原	0	潮砂泥田	砂土	中	水田
JXS11	婺源县紫阳镇岭下村	E117 47 40 1 N29 15 40 5	丘陵	16	紫砂泥	砂壤	中	茶园
JXS12	丰城市良种场	E115 11 20 N28 30 16	平原	0	水南紫泥田	中壤	中	水旱轮作
JXS13	永丰县坑头镇马围村马围组	E115 48 56 N26 55 52	平原	0	灰潮砂泥田	中壤	高	水旱轮作

1.4 SCS模型

SCS模型是美国水土保持局研制的小流域暴雨径流估算模型,虽未考虑雨期蒸发量,却考虑了流域下地表特点(如土壤、植被、坡度、土地利用等),既可以间接地考虑人类活动对流域径流的影响,也可以在水文模型参数与遥感信息之间建立直接的联系,并可以应用于无资料流域径流的估算,具有结构简单、参数少、使用方便的优点。其降雨—径流关系的最终计算公式为:

$$\begin{cases} P \leq 0.2S & R = 0 \\ P > 0.2S & R = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \end{cases} \quad (1)$$

(1)式中:R为径流量(mm);P为次降雨总量(mm);S为流域储水量,相当于降雨径流过程中的失水量,包括截留、蒸发、下渗的水量(mm)。其计算公式为:

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

(2)式中:CN为SCS模型中用于描述降雨—径流关系的一个无量纲的重要参数,反映流域前期土壤湿润程度(Antecedent moisture condition,简称AMC)、坡度、土壤类型和土地利用现状综合特性,可以较好地反映地表垫面条件对径流的影响。

降水前期土壤水分条件分为(干燥)、(中等)、(湿润)3种类型(表2),若的CN值已知,条件和相应的曲线数可以根据以下公式计算:

$$CN(干燥) = \frac{4.2CN(中等)}{10 - 0.058CN(中等)} \quad (3)$$

$$CN(中等) = \frac{23CN(湿润)}{10 + 0.13CN(湿润)} \quad (4)$$

为了评定SCS模型的有效性,选用模型有效系数 $E_f$ 指标,该指标由Nash和Sutcliffe提出,用于评价模拟值与实测值的接近程度,其应用公式<sup>[17]</sup>:

表 2 前期土壤湿润程度等级划分<sup>[16]</sup>

Tab 2 The group of antecedent moisture level

土壤水分类型 Soil moisture group	前 5 d 降雨量 /mm Rainfall rate 5 days ago	
	生长期	休止期
	< 30	< 15
	30 ~ 50	15 ~ 30
	> 50	> 30

$$E_f = 1 - \frac{(Q_{absi} - Q_{cali})Q_{cali}}{(Q_{absi} - Q_{abs})} \quad (5)$$

(5)式中,  $Q_{absi}$ 为第  $i$ 场降雨的径流量实测值;  $Q_{cali}$ 为第  $i$ 场降雨的径流量模拟值;  $Q_{abs}$ 为实测径流量的平均值;  $E_f$ 的取值范围为(-1~1),模型有效系数越接近1,表明模型的有效性越好;反之,则有效性越差。本次试验数据量较大,模型使用置信度较好(表3)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土地利用方式对土壤曲线值影响

土壤 CN 值测算结果显示(表4):土壤湿度中等条件下,水田、水旱轮作、旱地、菜地、茶园、果园等常规处理的土壤 CN 值分别为 71~74、66~73、48~58、47~61、39、42~48;对照处理土壤 CN 值分别为 74~77、70~77、54~59、52~63、40、43~50,土壤 CN 值呈现水田 >水旱轮作 >旱地 >园地的整体趋势。除茶园、果园等多年生作物外,相同土地利用方式下常规处理与对照处理也有一定差异。干燥和湿润土壤条件下,土壤 CN 值的实测值与修正值的相对误差都小于 10%,尤其是水田和水旱轮作土地利用方式,相对误差都小于 5%。这说明通过监测自然降雨的降水量和径流量,测算土壤 CN 值的精度较高,具有很好的运用前景。此外,水田和水旱轮作土地利用方式下,水稻的灌水期土壤径流曲线值都为 95~97,各点位差异不大,地表径流产生量较大,不同于其它土地利用方式。

表 3 径流监测情况

Tab 3 Data from runoff monitoring

监测点位 Monitoring sites	种植模式 Land - use pattem	暴雨监测次数 /次 Rainfall times	监测径流平均量 /L Average runoff	监测降雨量 /mm Rainfall rate
JX01	水田	21	18 269. 2	1 189
JX02	果园	19	15 480. 0	1 112
JX03	果园	20	13 765. 8	1 193
JX04	水旱轮作	25	18 183. 4	1 154
JX05	水田	20	18 887. 3	1 174
JX06	旱地	20	15 413. 7	1 140
JX07	菜地	18	11 782. 3	1 031
JX08	旱地	16	15 091. 8	1 088
JX09	菜地	21	14 979. 9	1 107
JX10	水田	20	15 937. 9	977
JX11	茶园	19	10 594. 5	1 392
JX12	水旱轮作	19	19 741. 2	1 257
JX13	水旱轮作	19	19 220. 9	1 218

### 2.2 施肥对土壤径流曲线值的影响

不同土地利用方式的土壤径流曲线值方差分析结果(表5)表明,JX04(水旱轮作)、JX07(菜地)、JX08(棉田)、JX12(水旱轮作)、JX13(水旱轮作)等点位常规与对照处理间土壤径流曲线值(CN)的差异呈极显著水平;JX01(水田)、JX10(水田)达到显著水平;JX05(水田)和JX09(菜地)接近显著水平;JX02(桔园)、JX03(脐橙园)、JX11(茶园)、JX06(旱地—花生)等点位都未达到显著水平。分析原因,JX02(桔园)、JX03(脐橙园)、JX11(茶园)、JX06(旱地—花生)等多年生作物监测点位,因当季施肥水平对农作物的生物产量和作物根系生长影响不大,导致对照与常规处理耕地下垫面差异不大,径流曲线值变化较小;而JX04(水旱轮作)、JX07(菜地)、JX08(棉田)、JX12(水旱轮作)、JX13(水旱轮作)等点位则相反,施肥对当季作物的生物产量和根系生长量影响较大,土壤的地表粗糙度和下垫面持水能力差异较大,直接导致土壤 CN 的差异。JX05(水田)和JX09(菜地)2个监测点位,因为土壤都为中壤,而且土壤肥力相对较高,在一定程度上降低了肥料施用效率。可见,施肥对土壤径流曲线的影响主要是因作物覆盖程度改变地表粗糙度,作物根系影响下垫面的持水能力。

表 4 不同土壤湿度下 CN 值  
Tab 4 CN value on different soil moisture condition

土地利用方式 Land - use pattem	点位 Sites	处理 Treatment	CN (AMC I)			CN (AMC II)		CN (AMC III)			灌溉期 Irrigation stage 实测值
			实测值	修正值	相对误差	实测值	实测值	修正值	相对误差		
水田 Paddy land	JX05	CK	58	58	0.00	77	90	89	0.01	95	
		N	55	54	0.02	74	85	87	-0.02	96	
	JX01	CK	54	54	0.00	74	86	87	-0.01	97	
		N	53	51	0.04	71	84	85	-0.01	96	
	JX10	CK	55	54	0.02	74	91	87	0.05	95	
		N	56	52	0.07	72	88	86	0.02	97	
棉花 Cotton land	JX08	CK	33	33	0.00	54	70	73	-0.04		
		N	26	28	-0.08	48	67	68	-0.01		
花生 Peanut land	JX06	CK	36	38	-0.06	59	76	77	-0.01		
		N	34	37	-0.09	58	75	76	-0.01		
菜地 Vegetable land	JX09	CK	40	42	-0.05	63	79	80	-0.01		
		N	39	40	-0.03	61	78	78	0.00		
	JX07	CK	34	31	0.09	52	76	71	0.07		
		N	25	27	-0.08	47	73	67	0.09		
柑桔 Tangerine orchard	JX02	CK	26	24	0.08	43	64	63	0.02		
		N	25	23	0.08	42	63	62	0.02		
脐橙 Orange orchard	JX03	CK	31	30	0.03	50	73	70	0.04		
		N	30	28	0.07	48	71	68	0.04		
茶园 Tea garden	JX11	CK	23	22	0.04	40	63	61	0.03		
		N	23	21	0.09	39	64	60	0.07		
水旱轮作 Paddy and arid rotation	JX04	CK	51	52	-0.02	72	87	86	0.01	97	
		N	47	47	0.00	68	83	83	0.00	96	
	JX12	CK	58	58	0.00	77	90	89	0.01	95	
		N	54	53	0.02	73	86	86	0.00	95	
JX13	CK	49	49	0.00	70	87	84	0.04	96		
	N	44	45	-0.02	66	81	82	-0.01	97		

表 5 监测点位 CN (AMC )值及处理间方差分析  
Tab 5 Mean compared result from land - use CN

监测点位 Monitoring sites	常规处理 Normal treatment	对照处理 Control treatment	F 值 F value	显著水平 Significant level
JX01	71	74	13.5	0.021*
JX02	42	43	3.0	0.158
JX03	48	50	2.4	0.196
JX04	68	72	37.5	0.004**
JX05	74	76	6.0	0.07
JX06	58	59	1.5	0.288
JX07	47	52	37.5	0.004**
JX08	48	54	54.0	0.002**
JX09	61	63	6.0	0.07
JX10	72	74	12.0	0.026*
JX11	39	40	1.5	0.288
JX12	73	77	24.0	0.008**
JX13	66	70	54.0	0.002**

### 2.3 土壤质地对径流曲线值的影响

从土地利用模式分析,土壤径流曲线值呈水田 >水旱轮作 >旱地 >园地的整体趋势(表 6)。园地种植模式中,茶园、桔园和脐橙园等园地点土壤径流曲线值差异显著, JX03(脐橙) > JX02(桔园) > JX11(茶园),与耕地坡度变化趋势不一致。JX02 点位耕地坡度最小,土壤径流曲线值却大于 JX11,这可能是其土壤质地为轻壤,土壤的持水能力大于砂壤土壤的缘故。旱地和菜地土地利用模式中,土壤质地为砂壤的 JX07(菜地)和 JX08(棉田)点位土壤径流曲线值(CN)差异不显著,却与土壤质地为中壤的 JX06(花生)和 JX09(菜地)的点位差异达到极显著水平。水旱轮作土地利用模式,土壤质地为重壤的 JX04 的 CN 值大于土壤质地为中壤的 JX13,而且差异也达到显著水平。水田利用模式中,土壤质地为砂壤的 JX01 和 JX10 点位的土壤 CN 值差异不显著,却与土壤质地为中壤的 JX12 和 JX05 点位分别达到显著和极显著水平, JX12 和 JX05 点位间土壤 CN 值差异不显著。可见,相同土地利用方式下,土壤 CN 值呈现重壤 >中壤 >轻壤 >砂壤的整体趋势,土壤质地也是影响土壤径流曲线值的主要因子。

表 6 不同土地利用方式 CN(AMC)及点位方差分析

Tab 6 CN variance analysis for different land - uses

点位 Sites	利用类型 Land - use pattem	土壤类型 Soil group	土壤质地 Soil texture	肥力水平 Fertilizer level	CN( )值 CN value	LSD
JX11	茶园	紫砂土	砂壤	中	39	A
JX02	桔园	红泥质砖红壤	轻壤	中	42	B
JX07	菜地	赤红壤	砂壤	中	47	C
JX03	脐橙园	红泥质砖红壤	砂壤	低	48	C
JX08	棉田	潮黄砂土	砂壤	中	48	C
JX06	旱地	黄红泥土	中壤	中	58	D
JX09	菜地	灰潮砂泥田	中壤	高	61	E
JX13	水旱轮作	灰潮砂泥田	中壤	高	66	F
JX04	水旱轮作	黄泥砂田	重壤	高	68	g
JX01	水田	灰潮砂泥田	砂壤	中	71	H
JX10	水田	潮砂泥田	砂壤	中	72	H
JX12	水旱轮作	水南紫泥田	中壤	中	73	i
JX05	水田	水南紫泥田	中壤	中	74	Ji

$F = 394.8, n = 39, p = 0.000$ , 小写字母显著水平,大写字母极显著水平。

$F = 394.8, n = 39, p = 0.000$ , Small letters indicates significant different, capital letters indicate very significant different

### 2.4 SCS模型运用有效性分析

为了确定 SCS模型在鄱阳湖流域运用的可行性,笔者对初损值  $I_a$  对行修正。分析结果显示(表 7):当  $I_a = 0.1S$  时, JX02(柑桔)、JX03(脐橙)和 JX11(茶园)等点位模型模拟地表径流的有效性最好,有效系数  $E_f$  分别为 0.352 7、0.298 6和 0.489 6;当  $I_a = 0.2S$  时, JX01(水稻)、JX10(水稻)、JX05(水稻)和 JX12(水旱轮作)等点位模型使用有效性最好,有效系数  $E_f$  分别为 0.073 2、-0.403 6、-0.423 7和 -0.367 2;当  $I_a = 0.3S$  时, JX13(水旱轮作)、JX04(水旱轮作)、JX07(菜地)、JX09(菜地)、JX08(棉花)、JX06(花生)等监测点位模型的运用有效性最好,有效系数  $E_f$  分别为 0.627 5、-0.950 9、-0.791 8、0.951 6、-0.598 5和 0.965 0。显然,农业利用方式不同,耕地的降水初损值不同,其取值直接影响 SCS模型运用有效性和地表径流监测结果的精度。这可能是因不同的农业作物会造成土壤表面粗糙度不同,从而影响地表径流的初损值。相对水田而言,旱地土壤含水量较低,在一定程度上会增加地表径流初损值。园地坡度都在 10 以上,容易产生地表径流,其初损值可能相对较小。JX04 监测点位虽为水旱轮作,但它的后茬作物是油菜,为冬季作物,未产生有效径流;前季作物为中稻,造成其与水田出现相近结果。因此,运用 SCS模型对农区地表径流进行空间模拟时,应根据不同的农业利用方式对初损值进行修正,可有效增强模型运用的有效性,提高径流监测的精度。

表 7 模型运用的有效性

Tab 7 The availability of the application of SCS model

利用类型 Land - use pattern	监测点 Sites	$E_f(=0.1)$	$E_f(=0.2)$	$E_f(=0.3)$	暴雨次数 ( $n$ ) Rainfall times
水田 Paddy land	JX05	- 0.128 0	0.073 2*	0.072 6	20
	JX01	- 0.495 3	- 0.403 6*	- 0.410 6	21
	JX10	- 1.697 1	- 0.423 7*	- 1.155 7	20
水旱轮作 Paddy and arid rotation	JX12	- 1.949 0	- 0.367 2*	- 0.913 6	19
	JX13	0.119 7	0.495 0	0.625 7*	19
	JX04	- 5.432 9	- 2.320 1	- 0.950 9*	25
菜地 Vegetable land	JX07	- 0.995 5	- 0.972 4	- 0.791 8*	18
	JX09	0.837 1	0.919 0	0.951 6*	21
棉花 Cotton land	JX08	- 3.358 8	- 1.721	- 0.598 5*	16
花生 Peanut land	JX06	0.716 2	0.865 0	0.939 5*	20
柑桔 Tangerine orchard	JX02	0.352 7*	0.086 0	- 1.395 6	19
脐橙 Orange orchard	JX03	0.298 6*	0.294 5	- 0.922 4	20
茶园 Tea garden	JX11	0.489 6*	- 0.017 6	- 1.285 0	19

\*表示有效性最佳;  $n$ 表示暴雨次数。

“\*” means the optimal availability;  $n$  means rainfall times)

### 3 讨 论

SCS模型是流域尺度非点源污染监测评估模型的基础子模型,模型重要参数径流曲线值( $CN$ )直接关系到农业非点源污染监测和评估的准确性和可信度。对于裸露土壤而言,土壤径流曲线值仅与土壤质地、土壤含水量和坡度等因子相关。但在农业生产过程中,土壤径流曲线值  $CN$  还受到降水强度、种植模式、下垫面粗糙度、施肥水平等农业管理措施众多因素的影响。一般说,农业种植模式对土壤径流曲线值的影响,主要是通过耕作和作物覆盖改变地表粗糙度及作物根系影响下垫面的持水能力来减少地表径流量<sup>[18-19]</sup>。地面坡度在一定范围内也影响径流曲线值  $CN$ ,当坡度小于 25%时,尤其是坡度小于 5%时,其对土壤的径流曲线值  $CN$  影响最敏感<sup>[20]</sup>。土壤含水量是影响径流曲线( $CN$ )的重要因子,其大小直接关系到降水初损值的大小,当土壤含水量达到饱和时,径流量就等于降雨量<sup>[16]</sup>。降雨强度对土壤径流曲线值  $CN$  值的影响是因降雨强度降低了土壤的持水能力,增加径流的产生量<sup>[21]</sup>。显然,各种因子对土壤径流曲线值的影响是交互作用的非线性系统,很难描述单个因子与土壤径流曲线值的直接关系。本研究结果表明,相同土壤类型、不同土壤质地,土壤径流曲线值不同;相同土壤质地、不同利用方式,土壤径流值也不尽相同;相同土壤质地和利用方式、施肥水平不同,土壤径流曲线值也不相同。这就很好阐述了各因子对土壤径流值影响的复杂性,以及在流域尺度运用 SCS模型模拟地表径流量结果的不确定性。因此,直接测定流域内土壤类型、作物种类、种植制度、耕作方式、栽培模式具有代表性的土地利用方式的土壤径流曲线值,不仅可大大减少 SCS模型运用中变量参数累积偏差,提高监测结果的可信度,而且相对直接引用国外模型参数,通过各种影响因子进行修正,直接测定不同土地利用方式土壤  $CN$  值的方法更简便、更准确和更优越。

### 4 结 论

(1)鄱阳湖流域内,水田、水旱轮作、菜地、旱地、茶园和果园等土地利用典型方式土壤径流曲线值( $CN$ )分别为 71~74、66~73、48~58、47~61、39、42~48,不同土地利用方式间差异较大,为江西农业非点源污染流域监测提供重要参数。

(2)除降水强度等自然条件外,土地利用方式、土壤质地是影响土壤径流曲线值( $CN$ )的主要因子。施肥对多年生作物种植模式土壤径流曲线值没有显著影响,对 1 年生作物种植模式土壤径流曲线值影响显著。

(3) 农业利用方式不同, 土壤的降水初损值不同。当  $I_a = 0.2S$  时, 水田地表径流量模型模拟的有效性最好; 当  $I_a = 0.3S$  时, 水旱轮作和旱地地表径流模型模拟的有效性最好; 当  $I_a = 0.1S$  时, 园地地表径流模型模拟的有效性最好。通过降水初损值修正, SCS 模型在鄱阳湖流域内运用的有效性接近 1, 取得了较好的可信度。

(4) 农业非点源污染流域监测中, 由于直接测算自然降水条件和流域不同农业土地利用方式土壤 CN 值, 这样不仅可减少参数累积偏差, 提高监测结果的精度, 获得可信度较高的模型参数, 还可避免不同因子修正的复杂过程。

#### 参考文献:

- [1] William F Ritter, Adel Shimohammadi. Agricultural non - point source pollution: watershed management and hydrology [M]. Washington: edition CRC Press, 2001: 1 - 25.
- [2] Aldo Giorgini, Franco Zingales, Alessandro Marani, et al. Agricultural non - point source pollution: Model selection and application [M]. ISEM, 1986.
- [3] Knisel W G. CREAM: A field - scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems [R]. ARS, U S, 1980.
- [4] Chung SW, Gassman PW, Kramer L A, et al. Validation of EPIC for two watersheds in southwest Iowa [J]. Journal of Environmental Quality, 1999 (28): 971 - 979.
- [5] Young R A. AGNPS: A non - point source pollution model for evaluating agricultural watersheds [J]. Soil and Water Conservation, 1989, 44 (2): 168 - 173.
- [6] Beasley D B, Huggins L F, Monke E J. Answers: A model for watershed planning [J]. Transaction of the ASAE, 1980, 23 (4): 938.
- [7] Knisel W G, Davis FM, Leonard R A, et al. Gleams version 2.10. USDA - ARS, Coastal plain [M] // Experiment Station, Southeast Watershed Research Laboratory. Tifton, Georgia, 1993.
- [8] Grunwald S, Norton L D. AnnAGNPS - based runoff and sediment yield model for two small watersheds in Germany [J]. Transactions of ASAE, 1999, 42 (6): 1723 - 1731.
- [9] Lahbu M, Shoemaker L, Paquette M, et al. Better assessment science integrating point and non - point sources [C] // Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington D C, 1996.
- [10] 洪华生, 黄金良, 曹文志, 等. 九龙江流域农业非点源污染机理与控制研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [11] 邢可霞, 郭怀成. 基于 HSPF 模型的滇池流域非点源污染模拟 [J]. 中国环境科学, 2004, 24 (2): 229 - 232.
- [12] 赖格英, 于革, 桂峰, 等. 太湖流域营养物质输移模拟评估的初步研究 [J]. 地球科学, 2005 (35): 121 - 130.
- [13] 赵刚, 张天柱, 陈吉宁. 用 AGNPS 模型对农田侵蚀控制方案的模拟 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2002, 42 (5): 705 - 707.
- [14] 陈军峰, 陈秀万. SWAT 模型的水量平衡及其在梭磨河流域的应用 [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2004, 40 (20): 256 - 270.
- [15] 郑丽波, 杜新安, 王少平, 等. 非点源污染模型参数数字化及不确定性研究进展 [J]. 环境污染与防治, 2008, 30 (5): 69 - 73.
- [16] Urban Hydrology for Small Watersheds (TR - 55) [C] // USDA, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division, 1996: 2 - 11.
- [17] 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 [J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2007, 28 (1): 89 - 102.
- [18] Glanville S G, Freebaim D M, Silbum D M. Using curve numbers from simulated rainfall to describe the runoff characteristics of contour bay catchments [C] // Institution of Engineers Conference on Agriculture Engineering Bundaberg, Queensland, Australia: Institution of Engineers, 1984: 27 - 30.
- [19] Freebaim D M, Gupta S C, Onstad C A, et al. Antecedent rainfall and tillage effects upon infiltration [J]. Soil Science Soc Am J, 1989, 53: 1183 - 1189.
- [20] Williams J R. EPIC: Erosion/productivity impact calculator model documentation [C] // USDA ARS USDA ARS Technical Bulletin Number, 1768.
- [21] Yu B, Rosewell C J. Rainfall erosivity estimation using daily rainfall amounts for South Australia [J]. Australia Journal Soil Research, 1996, 34 (5): 721 - 733.