

# 豫西南山区不同用地类型土壤养分流失特征

王国重<sup>1</sup>, 李中原<sup>2</sup>, 屈建钢<sup>3</sup>, 左其亭<sup>4</sup>, 张武云<sup>5</sup>

(1. 黄河水文水资源科学研究所, 河南 郑州 450004; 2. 河南省水文水资源局, 河南 郑州 450003; 3. 河南省水土保持监督监测总站, 河南 郑州 450008; 4. 郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 5. 河南省南阳水文水资源勘测局, 河南 南阳 473000)

**摘要:** [目的] 对豫西南山区不同用地类型养分流失特征进行研究, 为区域土地规划、水土流失和农业面源污染的防控提供科学依据。[方法] 选取桃庄河流域和铁瓦河流域 5 类常见农田, 监测其地表径流中的养分浓度, 并用 SCS 模型估算了平水年份农田中随地表径流流失的养分数量。[结果] 各种农田径流中的养分含量和平水年随径流流失的养分数量基本一致, 桃庄河流域表现为:  $COD_{Mn} > \text{氮肥} > \text{磷肥}$ ; 铁瓦河流域是:  $\text{氮肥} > COD_{Mn} > \text{磷肥}$ , 这表明前者施用的有机肥和氮肥较多, 后者则是氮肥和有机肥较多; 不同农田随径流流失的养分数量状况, 桃庄河流域为: 药材地  $>$  芝麻地  $>$  玉米地  $>$  花生地  $>$  果园; 铁瓦河流域则为: 蔬菜地  $>$  玉米地  $>$  坡地  $>$  林地  $>$  果园, 这不仅与施肥种类及数量有关, 还与种植的作物、下垫面等状况有关。[结论] 该区需调整作物结构、改变盲目施肥的传统, 减少养分流失和面源污染。

**关键词:** 农田; 养分; 流失; SCS 模型

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)02-0083-06

**中图分类号:** S153.6

**文献参数:** 王国重, 李中原, 屈建钢, 等. 豫西南山区不同用地类型土壤养分流失特征[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 83-88. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 20170327. 001; Wang Guozhong, Li Zhongyuan, Qu Jiangan, et al. Features of Soil Nutrients Loss Under Different Land Use in Southwest Mountainous Areas of He'nan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 83-88. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 20170327. 001

## Features of Soil Nutrients Loss Under Different Land Use in Southwest Mountainous Areas of He'nan Province

WANG Guozhong<sup>1</sup>, LI Zhongyuan<sup>2</sup>, QU Jiangan<sup>3</sup>, ZUO Qiting<sup>4</sup>, ZHANG Wuyun<sup>5</sup>

(1. Hydrology and Water Resources of Yellow River Scientific Research Institute, Zhengzhou, He'nan 450004, China; 2. Hydrology and Water Resources Bureau in He'nan Province, Zhengzhou, He'nan 450003, China; 3. Soil and Water Conservation Supervision and Inspection Station in He'nan Province, Zhengzhou, He'nan 450008, China; 4. College of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou, He'nan 450001, China; 5. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Nanyang in He'nan Province, Nanyang, He'nan 473000, China)

**Abstract:** [Objective] The nutrient loss characteristics in different land use types were studied in southwest mountainous areas of He'nan Province to provide scientific basis for regional land planning, and for the prevention and control of agricultural non-point source pollution, water loss and soil erosion. [Methods] Five kinds of common farmland were selected in Taozhuanghe basin and Tiewahe basin, and wherein the nutrients concentrations in runoff were monitored and the nutrients loss was estimated by SCS model in normal flow year from different fields. [Results] The nutrients contents in all kinds of farmland were coincided with their loss observed in normal flow year, but were different in different catchment. In Taozhuanghe basin, COD was the most, nitrogen fertilizer was moderate and phosphate fertilizer was the least; while in Tiewahe basin, nitrogen fertilizer was the most, COD was moderate and phosphate fertilizer was the least. This indicated organic and nitrogen fertilizer were more preferably used in Taozhuanghe basin; nitrogen and

\* organic fertilizer were more frequently used in Tiewahe basin. Nutrients loss varied in different fields, in Taozhuanghe basin the rank was: herbs>sesame>corn>peanut>orchard; In Tiewahe basin, it was: vegetable>corn>slope>woodland>orchard. Nutrients loss was not only related to fertilizer type and application quantity, but also to the condition of underlying surface, such as slope, crops, etc. [Conclusion] It is necessary that the crop structure should be adjusted and the traditional fertilization custom should be changed according to local conditions to reduce nutrient loss and non-point source pollution.

**Keywords:** farmland; nutrient; loss; SCS model

养分是作物生长不可或缺的元素,也是农业可持续发展的根本要素<sup>[1]</sup>。合理施用化肥是实现作物增产的有效途径,但由于化肥的利用率不高,使得肥料的施用量往往超出作物的吸收能力,致使过量养分在土壤中富集形成面源污染,在降雨侵蚀情况下,由于地表径流冲刷,随土壤颗粒而流失<sup>[2-3]</sup>。降雨径流造成农田中颗粒态和水溶性的养分流失,不仅降低土壤肥力、使作物减产,还会造成水体富营养化,甚至污染地下水和空气。农业面源污染目前已成为一个全球瞩目的严重环境问题<sup>[4]</sup>。土壤侵蚀作为农业面源污染的一种形式,不仅破坏地表生态环境,还会带来经济损失,已成为国际关注的焦点<sup>[5]</sup>。20世纪90年代,美国因土壤侵蚀引起的水质污染已造成22~70亿美元的经济损失<sup>[6-7]</sup>。随着经济的发展、人口增加和生活水平的提高,人们对种植业、养殖业的需求日益增加,再加之对资源的不合理开发,农业面源污染将逐年加重。豫西南山区属国家级水土流失重点预防区,其农业面源污染直接影响丹江口水库水质<sup>[8]</sup>。为了掌握该区农田中的面源污染情况,分别选取水土流失类型为土石山区的桃庄河小流域和浅山丘陵区

的铁瓦河小流域的5种常见用地类型,监测其径流中的养分浓度,并估算用地中养分流失量,分析其流失特征,为区域土地规划、水土流失和农业面源污染的防控提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 小流域概况

桃庄河小流域位于南阳市内乡县桃溪镇境内,是丹江口水库上游灌河支流渐河的源头,涉及桃庄村及其所属的31个村民小组,总面积26.08 km<sup>2</sup>;铁瓦河小流域位于淅川县城东北部3.5 km处,属丹江支流老灌河的一个支流,隶属上集镇管辖,包括铁庙、娃鱼河、程洼、郑湾4个行政村,流域面积18.17 km<sup>2</sup>。这两个流域共同特点:属亚热带大陆季风气候,雨量较为丰富、降雨主要集中在6—9月且雨强大、历时短,地形起伏多变、相对高差较大(桃庄河流域639.6~260 m,铁瓦河流域550~190 m),极易产生水土流失。桃庄河村所属的东沟村民小组、铁瓦河流域所辖的郑湾村,两者都交通便利,便于监测和提取径流样品,因此,以之作为研究对象。各类农田的基本情况详见表1。

表1 研究小流域农田基本特征

流域	样点	坡度/ (°)	土壤类型	氮肥施肥量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	磷肥施肥量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	面积/ hm <sup>2</sup>	施肥时间
桃庄河	玉米地	29~31	砂壤	0.45	0.225	6.67	基肥
	药材地	19~21	砂壤	0.60	0.300	13.33	3,5,7月
	花生地	37~39	砂壤	0.45	0.225	14.00	2,3月
	芝麻地	24~26	砂壤	0.45	0.225	8.00	3,4月
	果园	28~31	砂壤	0.45	0.225	100.00	3,11,12月
铁瓦河	玉米地	5~7	壤土	0.45	0.225	120	基肥
	菜地	6~8	壤土	零星施肥	零星施肥	21.33	不定期施肥
	林地	7~9	壤土	0.45	0.225	17.33	2,3月
	坡地	33~35	砂壤	0.45	0.225	80.00	3,4月
	果园	15~17	壤土	0.30	0.150	153.33	3,11,12月

### 1.2 样品的采集

从2014年6月初至9月底监测到2场两个流域各类用地都产流的天然降雨,采用无界径流小区法<sup>[9]</sup>分别采集了桃庄河小流域东沟村民小组、铁瓦河小流

域郑湾村上述用地中的径流样品。降雨产流后,在各类用地径流出口处用接取水样,各监测点每隔2 h采集径流样品1次,每个样品600 ml。前场降雨每种用地采集6个样品,后场降雨每种地类采集4个样品,

做好标记,带回南阳水文水资源勘测局化验室,测定地表径流中总磷(TP)、总氮(TN)、硝态氮(NO<sub>3</sub>-N)、氨态氮(NH<sub>3</sub>-N)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)的浓度,测定前让水样自然沉降 30 min,取上层非沉降部分进行分析。总氮的测定采用碱性硫酸钾消解—紫外分光光度法,总磷采用钼酸铵分光光度法,硝态氮采用酚二磺酸分光光度法,氨态氮采用分光光度法,用高锰

酸钾酸性法测定高锰酸盐指数。

### 1.3 样品测定方法

总磷的测定采用钼酸铵分光光度法,总氮用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,硝态氮用分二磺酸分光光度法,氨态氮采用纳氏试剂光度比色法,COD的测定用高锰酸盐指数法<sup>[10]</sup>。由上述测定方法,可得到这两个小流域不同用地径流中养分的平均浓度(表 2)。

表 2 两个流域不同降雨下地表径流中养分含量

采样日期	降雨量/mm	流域	用地类型	TP	TN	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>3</sub> -N	COD <sub>Mn</sub>
20140917	50.4	桃庄河	玉米地	0.240	13.150	4.542	1.064	27.767
			药材地	0.122	37.850	18.500	0.515	18.450
			花生地	0.235	19.867	5.640	0.552	19.900
			芝麻地	0.072	31.483	23.833	0.318	14.275
			果园	0.308	8.093	4.370	0.389	13.733
	44.5	铁瓦河	玉米地	0.050	40.483	22.567	0.503	17.883
			菜地	0.220	180.333	147.000	0.522	45.150
			林地	0.207	7.438	5.343	0.619	9.117
			坡地	0.063	19.765	15.563	0.272	—
			果园	0.032	3.372	1.975	0.647	23.733
20140927	30.0	桃庄河	玉米地	0.133	17.875	15.575	0.129	16.650
			药材地	0.075	20.275	17.775	0.274	22.900
			花生地	0.123	14.655	12.675	0.216	24.925
			芝麻地	0.035	19.325	17.500	0.551	15.125
			果园	0.098	3.208	2.418	0.564	18.425
	25.0	铁瓦河	玉米地	0.267	33.867	28.367	1.710	16.100
			菜地	0.163	68.267	62.733	0.594	22.500
			林地	0.033	3.980	3.070	0.151	—
			坡地	0.073	5.550	10.490	0.471	—
			果园	0.040	2.190	0.930	0.805	3.460

### 1.4 农田养分流失量的估算

通过 SCS 模型结合当地降雨资料估算了平水年份不同用地中的径流深(量),再根据这 2 次降雨所占流域平水年份侵蚀性降雨的比例,以及监测的各类用地中养分的平均含量估算平水年用地中养分随径流的流失量。

SCS 模型(soil conservation service, SCS)是一个针对暴雨或侵蚀性降雨的流域水文模型<sup>[11]</sup>,1954年由美国水土保持局研制。该模型所需参数较少、资料易于获取、计算过程简单,已广泛应用于流域工程规划、水土保持、洪水预报、面源污染、城市水文等研究领域<sup>[12-14]</sup>,其产流计算公式为<sup>[15]</sup>:

$$Q = \begin{cases} \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} & (P \geq 0.2S) \\ 0 & (P < 0.2S) \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $P$ ——次降雨的总雨量(mm);  $Q$ ——径流量

(mm);  $S$ ——吸水参数,反映流域土壤的最大蓄水能力(mm)。

吸水参数  $S$  表示降雨与径流之间的差值,计算公式为:

$$S = 25400 / (CN - 254) \quad (2)$$

式中:  $CN$ ——无量纲参数,反映降雨前流域土壤前期湿润程度、土壤类型、土地利用现状的综合参数,表示下垫面条件对产汇流的影响,其取值范围为 0~100。

SCS 模型中,考虑了土壤及其前期湿度对径流的影响:根据前 5 d 的总雨量将土壤湿润程度分成干旱、正常、湿润 3 种状态,根据质地将土壤分成 A, B, C, D 这 4 类<sup>[16]</sup>。

正常土壤水分条件下的径流曲线数( $CN_2$ ),可由相关的表格查到,干旱和湿润状态对应的  $CN_1, CN_3$  可由下式计算得到<sup>[17]</sup>:

$$CN_1 = CN_2 / (2.2340 - 0.01334CN_2) \quad (3)$$

$$CN_3 = CN_2 / (0.4036 + 0.0059CN_2) \quad (4)$$

坡度对地块的产汇流影响较大,根据各类地块的平均坡度( $\infty$ ),按照坡度修正公式对参数 CN 值进行修正,公式为<sup>[18-19]</sup>:

$$CN_{cc} = CN \times (322.79 + 15.63 \times \infty) / (\infty + 323.52) \quad (5)$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 两个小流域各类用地径流中养分含量特征

从表 2 可知,虽然降雨日期相同但 2 个流域的降雨量却不相同,桃庄河流域到径流结束时这 2 次降雨的降雨量分别为 50.4 和 30.0 mm,铁瓦河流域则为 44.5,25.0 mm;径流中养分含量与降雨量之间并未显示出直接的线性关系,并不是随着降雨量的增加而增加,这表明径流中的养分浓度是由多种因素决定的,除了降雨量之外,还与降雨强度、降雨历时、前期影响雨量、样品采集方式、下垫面状况等因素有关;养分流失主要表现为氮素和有机物的流失,磷素流失相对较少;流失的氮素中,硝态氮的含量高于氨态氮,这可能与所施肥料的种类、下垫面以及种植的作物属性有关。具体到 2 个小流域,各类用地径流中养分平均浓度的输出规律,桃庄河流域大体上为:COD<sub>Mn</sub> 的含量较高,其次是氮元素和磷元素,铁瓦河流域则呈现出:氮元素含量较高,其次为 COD<sub>Mn</sub>,磷元素含量最低;对于不同土地而言,2 次径流中的养分平均含量,桃庄河流域大致表现为:药材地>芝麻地>花生地>玉米地>果园,铁瓦河流域大致表现为:蔬菜地>玉米地>坡地>林地>果园。经过走访调查,药材地、花生地、芝麻地、果园是桃庄河流域主要的经济来源,主要在春季施肥,玉米地主要用于自给自足,一般在 6—7 月施肥,再者,有些作物是两种混种或者与果树套种;蔬菜地、玉米地、林地、果园是铁瓦河流域主要的经济来源,会不定期施肥,坡地施肥次数要根据所种植的作物,蔬菜地、玉米地分布于地势较为平坦的地段,而林地、果园稍有坡度,坡地的坡度较大,上述原因使得不同用地径流中养分输出呈现上述特点。

### 2.2 各类用地平水年份的径流深

根据参考文献<sup>[20]</sup>,桃庄河流域平水年的降雨量 773.9 mm,而 7,8,9 这 3 个月的雨量分别为 215.3,

130.1 和 144.1 mm,分别占年雨量的 27.82%, 16.81%和 18.62%,其他月份的降雨总量仅占年雨量的 36.75%;铁瓦河流域平水年的降雨量为 786.2 mm,7,8,9 这 3 个月的雨量分别为 174.0,166.5 和 175.1 mm,分别占年雨量的 22.13%,21.18%和 22.27%,其它月份的降雨总量仅占年雨量的 34.42%。根据各月的雨量,划定 7—9 月份的土壤湿润程度为正常状态,其它月份 10—6 月份为干旱状态;这 2 个流域土壤质地均属于 B 类土壤。根据国家工程手册第 4 章给出的 CN 值表和相应的研究成果<sup>[21-23]</sup>,结合研究区土地利用类型及其坡度,通过公式(3)和(5),可得到干旱、正常状态下的 CN 值及其修正值(表 3)。由表 3 可知,桃庄河流域各类用地中坡度变化较大,CN 值修正前后也相应地发生变化,铁瓦河流域除坡地外,各类用地中坡度变化不大 CN 值修正前后也差异不大。根据 CN 值,代入公式(2)和(1),就可以算得各类用地中的径流深详见表 4。

表 3 研究区不同土地类型的 CN 值

流域	土地类	平均坡度/%	CN 值		坡度修正的 CN 值	
			干旱	正常	干旱	正常
桃庄河	玉米地	57.74	55	71	56	73
	果园	55.43	37	55	38	56
	花生地	78.13	40	58	41	60
	芝麻地	46.63	42	60	43	61
	药材地	36.40	43	61	44	62
铁瓦河	玉米地	10.51	55	71	55	71
	果园	28.67	37	55	37	56
	蔬菜地	12.28	40	58	40	58
	林地	14.05	42	60	42	60
	坡地	67.45	40	58	41	60

由表 4 可以看出,除铁瓦河流域的玉米地、菜地、林地外,其它用地修正前后的径流深差异明显,说明坡度对地表径流影响很大。表 4 中的不同用地中的径流深与黄文敏等<sup>[24]</sup>估算的丹江口库区小茯苓村不同土地类型中的径流深基本一致,此外,该结果与南召县青杠扒小流域的径流场 2012—2014 年监测数据进行了比对,也基本吻合。

表 4 各类用地中平水年份的径流深

		mm				
项目	坡度影响	玉米地	果园	花生地	芝麻地	药材地
桃庄河	修正前	596.13	465.14	491.44	507.96	515.95
	修正后	603.73	474.12	501.86	515.95	523.75
项目	坡度影响	玉米地	果园	菜地	林地	坡地
铁瓦河	修正前	607.98	476.06	502.58	519.24	502.58
	修正后	607.98	478.35	502.58	519.24	513.09

### 2.3 两个小流域不同用地中养分流失特征

桃庄河流域平水年份日降雨量 $\geq 12$  mm 的侵蚀性降雨<sup>[24]</sup>共发生 17 次,累计雨量 284.7 mm,日降雨量 $\geq 50$  mm 的暴雨共发生 3 次,累计雨量 257.4 mm;这两次的总降雨量为 80.4 mm,占侵蚀性降雨总量的 28.24%,占暴雨总量的 31.24%,占这 20 次降雨总量的 14.83%,近 1/7 的水平。铁瓦河流域平水年份日降雨量 $\geq 12$  mm 的侵蚀性降雨共发生 21 次,累计雨量 377.1 mm,日降雨量 $\geq 50$  mm 的暴雨共发生 3 次,累计雨量 212.1 mm;这 2 次的总降雨量为 69.5 mm,占侵蚀性降雨总量的 18.43%,占暴雨总量的 32.77%,

占这 24 次降雨总量的 11.80%,近 1/9 的水平。因此,桃庄河流域以所测这 2 次降雨的平均养分流失浓度的 1/7 作为全年的平均流失浓度,铁瓦河流域以所测这两次降雨的平均养分流失浓度的 1/9 作为全年的平均流失浓度,结合前面计算的径流深,估算了这 2 个流域的玉米地和果园中养分的流失量(表 5)。由表 5 可知,各类农田平水年份养分的平均流失特征,桃庄河流域为:COD<sub>Mn</sub> 流失最多,其次是氮肥、磷肥,铁瓦河流域为:氮肥流失最多,其次是 COD<sub>Mn</sub>,磷肥最少,这可能跟施肥习惯有关:桃庄河流域施用的有机肥多于氮肥,铁瓦河流域则是氮肥多于有机肥。

表 5 不同用地平水年份单位面积的养分流失量

kg/hm<sup>2</sup>

项目	坡度影响	土地类型	TP	TN	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>3</sub> -N	COD <sub>Mn</sub>
桃庄河流域 养分流失量	修正后	玉米地	0.161	13.373	8.671	0.515	19.145
		药材地	0.071	20.842	13.007	0.283	14.827
		花生地	0.132	12.723	6.750	0.283	16.520
		芝麻地	0.040	19.008	15.463	0.326	10.999
		果园	0.137	3.828	3.647	0.323	10.891
铁瓦河流域 养分流失量	修正后	玉米地	0.107	25.114	17.204	0.748	11.479
		蔬菜地	0.107	69.481	58.618	0.312	18.907
		林地	0.069	3.457	2.427	0.222	2.630
		坡地	0.039	7.215	7.425	0.212	—
		果园	0.019	1.477	0.772	0.286	7.222

## 3 讨论与结论

降雨径流是农田养分流失的动力和载体。目前对农田养分流失的研究主要是通过人工降雨或者结合径流小区、农作方式,分析雨强、土地利用、农作方式的水土保持效应,造成的结果是不同人的研究结果缺乏可比性,虽然也有个别研究涉及到上述因素对养分流失的影响。对于农田自然降雨情况下的养分流失的报道较为罕见,针对地形起伏多变、水土流失易发的豫西南山区的报道就更为鲜见。

本研究以土石山区的桃庄河小流域和浅山丘陵区的铁瓦河小流域的几种常见用地为研究对象,实地监测其径流中的养分含量,并用 SCS 模型估算了平水年份不同土地中养分的流失量,结果表明,桃庄河流域各种用地径流中的养分含量和估算的流失量基本一致,大体为:COD<sub>Mn</sub> 最多,其次是氮肥,磷肥最少,铁瓦河流域各类用地径流中养分含量和估算的流失量也大体相同:氮肥流失最多,然后是 COD<sub>Mn</sub>,磷肥最少,这可能跟施肥习惯有关:桃庄河流域施用的有机肥较多,其次是氮肥,而铁瓦河流域则偏重于氮肥,而后是有机肥。不同用地中的养分流失量排序,桃庄河流域大致为:药材地>芝麻地>玉米地>花生地>

果园,铁瓦河流域大致为:蔬菜地>玉米地>坡地>林地>果园,这方面原因比较复杂,一方面与施肥量有关,另一方面还与种植的作物、坡度、下垫面等状况有关。

由这 2 个小流域可知,按照习惯盲目施肥的现象在豫西南山区还较为普遍。盲目施肥可能产生的后果往往使施肥数量超过作物所需,使得投入白白浪费,造成了肥料和人工的损失;该施的肥没有施足,不该施的却施下去了,既造成了浪费又产生了肥害;施肥品种单一,作物所需的养分得不到满足,影响作物品质和丰产。这就需要采用科学合理的施肥方式,既可以保证作物丰收、提高肥料的利用率,还能够减少农田面源污染,如测土配方施肥。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 陈雅君,闫庆伟,张璐,等. 氮素与植物生长相关研究进展[J]. 东北农业大学学报,2013,44(4):144-148.
- [2] 张梦娇,王震洪. 模拟地表径流冲刷下大冲流域不同土地利用类型地表氮和磷流失特征[J]. 农业与技术,2012,32(2):3-6.
- [3] 房丽萍,孟军. 化肥施用对中国粮食产量的贡献率分析:基于主成分回归 C-D 生产函数模型的实证研究[J]. 中国农学通报,2013,29(17):156-160.

- [4] 宋家水,李英涛,宋宇,等. 农业面源污染的研究进展[J]. 中国农学通报,2010,26(11):362-365.
- [5] 郑粉莉,李靖,刘国彬. 国外农业非点源污染(面源污染)研究动态[J]. 水土保持研究,2004,11(4):64-65,112.
- [6] 张玉斌,郑粉莉,武敏. 土壤侵蚀引起的农业非点源污染研究进展[J]. 水科学进展,2007,18(1):123-132.
- [7] Lovejoy S B, Lee J G, Randhir T O, et al. Research needs for water quality management in the 21st century: A spatial decision support system [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1997,52(1):18-22.
- [8] 姜世英,韩鹏,贾振邦,等. 南水北调中线丹江口库区农业面源污染 PSR 评价与基于 GIS 的空间特征分析[J]. 农业环境科学学报,2010,29(11):2153-2162.
- [9] 罗海波,刘方,邓为难,等. 贵州省煤矸石堆场径流污染特征及其对溪流水质的影响[J]. 水土保持通报,2010,30(4):148-151.
- [10] 全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范[M] (第 2 版). 北京:中国农业出版社,2006.
- [11] 刘兰岚. 降雨产流计算中径流曲线法(SCS 模型)局限性的探讨[J]. 环境科学与管理,2013,38(5):64-68.
- [12] 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.
- [13] 王业耀,汪太明,香宝. SCS 模型中城市地区土壤 AMC 确定方法的改进及应用研究[J]. 水文,2011,31(4):23-27.
- [14] 郭晓军,崔鹏,庄建琦,等. SCS 模型在泥石流多发区降雨—径流模拟中的应用:以云南省蒋家沟流域为例[J]. 水土保持通报,2010,30(2):225-229.
- [15] 董文涛,程先富,张群,等. SCS-CN 模型在巢湖流域地表产流估算中的应用[J]. 水土保持通报,2012,32(3):174-177.
- [16] 王亦宁,毛明海. 桐庐县分水江流域面源污染评价及防治对策[J]. 科技通报,2008,24(5):721-726.
- [17] Huang Mingbin, Gallichand J, Wang Zhanli, et al. A modification to the soil conservation service number method for steep slopes in the loess plateau of China [J]. Hydrological Process, 2006,20(3):579-589.
- [18] 陈正维,刘兴年,朱波. 基于 SCS-CN 模型的紫色土坡地径流预测[J]. 农业工程学报,2014,30(7):72-81.
- [19] 王红雷,王秀茹,王希. 利用 SCS-CN 方法估算流域可收集雨水资源量[J]. 农业工程学报,2012,28(12):86-91.
- [20] 朱明勇,谭淑端,张全发. 近 60 年汉江流域侵蚀性降雨的时空变化特征[J]. 生态环境学报,2013,22(9):1544-1549.
- [21] Williams J R, Laseur W V. Water yield model using SCS curve numbers[J]. Journal of Hydraulics Division ASCE, 1976,102(9):1241-1253.
- [22] 张钰娟,穆兴民,王飞. 径流曲线数模型(SCS-CN)参数  $\lambda$  在黄土丘陵区的率定[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(5):124-128.
- [23] 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[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(8):67-70.
- [24] 黄文敏,毕永红,胡征宇,等. 丹江口水库农业面源污染特征研究[J]. 环境科学与管理,2012,37(1):33-38.

(上接第 82 页)

- [22] 苏从先,胡隐樵,张永丰,等. 河西地区绿洲的小气候特征和“冷岛效应”[J]. 大气科学,1987,11(4):390-396.
- [23] 翁笃鸣,陈万隆,沈觉成,等. 小气候与农田小气候[M]. 北京:农业出版社,1979:213-301.
- [24] 刘树华,辛国君,陈荷生,等. 沙漠人工林植被和流动沙丘的小气候特征研究[J]. 干旱区地理,1994,17(1):17-23.
- [25] 张强,胡隐樵. 绿洲地理特征及其气候效应[J]. 地球科学进展,2002,17(4):477-486.
- [26] 庞营军,雷加强,曾凡江,等. 新疆维吾尔自治区策勒县绿洲—沙漠过渡带小气候特征[J]. 水土保持通报,2011,31(5):240-245.
- [27] 董学军,杨宝珍,郭柯,等. 几种沙生植物水分生理生态特征的研究[J]. 植物生态学报,1994,18(1):86-94.
- [28] 胡非. 大气边界层的一些空气动力学特征[J]. 力学进展,1990,20(3):328-340.