

嘉陵江流域下游地表径流对土地利用变化的响应

邓睿, 张治意, 陈亚

(重庆交通大学 建筑与城市规划学院, 重庆 400074)

摘要:近年来,嘉陵江流域下游发展迅速,流域内的土地利用发生了较大变化,下垫面的变化影响了流域的地表径流。在遥感和地理信息系统的支持下,通过解译1993年、2004年、2014年嘉陵江流域下游的遥感影像,获得了该流域不同时期的土地利用情况,并在此基础上,运用分布式水文模型的SCS模型模拟地表径流,分析了嘉陵江流域下游地表径流对土地利用变化的响应。结果表明:(1)1993—2014年,嘉陵江流域下游土地利用以耕地转出为主,耕地是研究区唯一减少的土地利用类型,而且减少量较大,居民点及工矿用地和草地以转入为主,其他用地的空间转移较为复杂;(2)以汛期6月份的累年平均降水量190 mm作为嘉陵江流域下游的降水量,土地利用类型综合产流能力1993年>2004年>2014年,径流系数分别为0.699,0.671,0.668,在空间分布上南部地区>中部地区>北部地区;(3)研究区不同类型土地利用的产流情况与土地利用类型面积相关联,当土地利用—土壤组面积发生变化时,其对应的产流能力也会发生变化,进而影响地表径流。

关键词:地表径流;土地利用变化;SCS模型;嘉陵江流域下游

中图分类号:P333;F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)03-0141-07

Responses of Runoff to Land Use Changes in Lower Jialing River Basin

DENG Rui, ZHANG Zhiyi, CHEN Ya

(College of Architecture and Urban Planning, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The development of the lower reaches of the Jialing River Basin has been rapid in recent years, and the land uses in the basin have also changed dramatically, resulting in a large change of the surface runoff. In this paper, with the support of remote sensing and geographic information technology, land use data of different periods of the basin were obtained by interpreting the remote sensing images of the lower reaches of the Jialing River Basin in 1993, 2004 and 2014. The response of runoff to the land use change was analyzed based on SCS model. The results showed that: (1) in the period 1993—2014, the cultivated land which was the only decreased land use type in the study area decreased greatly, and residential, industrial area and grassland increased dramatically; other land use type transferred complicatedly; (2) In the flood season, the average annual precipitation of 190 mm in June was taken as the unified precipitation in the lower reaches of the Jialing River Basin, the integrated runoff capacity of land use type decreased in the order: 1993>2004>2014, runoff coefficients were 0.699, 0.671 and 0.668, respectively, and the rates of the runoff decreased in the order: southern region>the central region>the northern region; (3) the runoff was related to the land use type, when the land use-soil area changed, the corresponding runoff capacity changed, which further affected the surface runoff.

Keywords: surface runoff; land use change; SCS model; lower Jialing River Basin

土地资源作为人类生存发展的物质基础,随着人口增长和经济发展,土地的利用方式也发生了明显的变化。近年来,我国城镇化进程加快,城市建成区的范围逐渐扩大,土地利用方式不断改变,生态环境受到了严重影响,土地利用变化对区域资源、环境和可持续发展

的影响成为了关注的焦点^[1]。土地利用变化可以直观地展现人与自然间的相互联系,结合遥感和地理信息系统可以掌握土地利用变化的数量、面积和各地类间变化的趋势,以寻求各地类间相互转化的驱动力,达到及时、准确、合理控制土地利用变化的结果^[2-3]。

水文过程是一个复杂过程,它和土地表层系统中的所有自然地理要素在时间和空间的分布都密切相关,土地利用方式及其变化对水文过程也有显著的影响,因此国际研究机构在全球变化研究中把土地利用变化的水文响应作为研究的重要内容^[4]。流域下垫面的水文特性随着土地利用的变化而变化,影响了水循环和水量平衡,下游洪涝灾害、地下水位下降、水资源短缺等问题也会随之出现,进而影响流域的可持续发展和生态环境^[5]。在流域尺度上,土地利用变化影响水文过程,改变了水资源的供需关系,对流域生态环境和经济发展等有着明显的影响,因此认识和掌握土地利用变化对流域水文过程的影响成为了规划、管理流域水资源和可持续发展等领域的主要研究方向^[6]。

目前,国内外在土地利用变化对地表径流影响的研究领域取得了大量的研究成果。其中美国、英国、澳大利亚等发达国家进行了大量的研究,结果都强调流域植被类型和土地利用结构与水文过程间的关系^[7-9]。Stanley 等研究了美国伊利诺斯州多个流域 1940—1990 年气候和土地利用变化对河川径流以及洪水的影响^[10];Reshmidevi 等基于 SCS-CN 模型对雨水田土壤水分地理空间估算方面取得了很大成就^[11];史培军等以深圳市为研究对象,研究土地利用变化对地表径流的影响,结果表明随着人类活动的加剧,土地利用的变化使径流量趋于增大^[12];郭宗锋等研究了西双版纳地区流域土地利用变化对径流的影响,认为人类活动干扰程度大的土地利用类型面积不断增加,这种土地利用方式影响流域径流的结果越明显^[13];陶艳成等研究了钦江流域土地利用变化对径流的影响,得出土地利用结构的变化使得地表径流深度发生变化的结论^[14];Fu 等也对中国黄土高原 SCS-CN 方法的初始抽取率展开研究,目的是确定 λ 的值,对中国黄土高原径流进行合理的估计^[15]。同时国内外许多学者也展开了土地利用变化对水质影响

的大量研究,刘丰等通过研究近二十年白洋淀土地利用变化及其对水质的影响,为制定该流域水环境管理措施提供科学依据^[16];赵鹏等选择广东省淡水河流域为研究对象进行流域景观格局与河流水质的多变量相关分析^[17];Langroodi 等研究了土地利用/覆盖与地下水水质变化的关系^[18];项颂等分析了不同时空尺度下土地利用对洱海入湖河流水质的影响^[19]。

嘉陵江是长江水系中流域面积最大的支流,是长江上游洪水的主要来源,也是长江各大支流中水土流失较严重的地区。随着经济社会的发展,嘉陵江流域下游的土地利用发生了较大变化,本研究基于 3 期遥感影像,研究嘉陵江流域下游地表径流对土地利用变化的响应,以期对嘉陵江流域下游土地资源的合理利用,资源、环境以及生态问题的政策制定提供参考依据。

1 研究区域和研究数据

1.1 研究区概况

嘉陵江流域在东北面以秦岭、大巴山和汉水为界,在东南面以长江和华蓥山相隔,在西北面接壤龙门山与岷江,西及西南为低矮的分水岭与沱江毗连,位于东经 102°30′—109°00′,北纬 29°40′—34°30′。嘉陵江下游绝大部分流经四川盆地中部,在合川纳渠江、涪江,于重庆市渝中区汇入长江。本次研究的区域为嘉陵江流域下游,即合川至重庆河口,河道全长 97 km。

1.2 研究数据

1.2.1 遥感影像数据 本文的研究数据以 1993 年、2004 年和 2014 年遥感影像作为提取土地利用的原始数据,其中 1993 年和 2004 年为 Landsat 5 TM 影像,2014 年为 Landsat8 OLI_TIRS 影像,影像基本无云,能见度较高,质量较好。3 期影像选取的时间为研究区汛期 5—9 月份的影像,消除了由于降水量差距较大产生的影响。详细信息见表 1。

表 1 遥感影像数据

影像简称	拍摄日期	太阳高度角	太阳方位角	像中心经度	像中心纬度	Landsat 型号
L45 TM	1993-05-24	60.84	99.08	105.67509	28.87545	LANDSAT5
L45 TM	2004-08-10	60.58	13.99	106.12744	30.29235	LANDSAT5
OLI_TIRS	2014-08-06	64.64	116.58	106.10503	30.30622	LANDSAT8

1.2.2 土壤数据 本研究将联合国粮农组织(FAO)的世界数字土壤图作为土壤原数据。该数据具有两大优点,一是增加第三级土壤单元来适应大比例尺制图的精度要求,二是考虑了人口增长和土壤资源减少之间的矛盾日益突出,添加了许多与土地资源评价和农业生产技术有关的内容。

1.2.3 降水数据 本研究的降水数据来源于中国气

象局气象数据中心,主要包括嘉陵江流域下游 4 个气象站点 1981—2010 年的累年月平均降水量和月最大降水量。

2 研究方法

2.1 土地利用变化

结合研究区的实际情况,对遥感影像进行监督分

类,将嘉陵江流域下游土地利用类型分为 5 类,分别是水域、居民点及工矿用地、草地、林地和耕地。从土地利用类型面积变化、土地利用类型空间转移和土地利用变化幅度来分析研究区土地利用的变化情况。

2.1.1 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵主要用来分析土地利用变化的数量特征和各用地类型变化的方向,并能清楚反映各地类之间的相互转化关系。

2.1.2 土地利用变化幅度 土地利用变化幅度反映了研究区内某一种土地利用类型从研究阶段的初期到末期面积的变化情况,其数学表达式如式(1)所示。

$$H=\frac{(T_b-T_a)}{T_a}\times 100\%$$

(1)

式中: H 为土地利用类变化幅度; T_a 和 T_b 为研究区内某种土地利用类型在研究初、末期的面积。

2.2 土地利用变化的地表径流响应

本研究采用 SCS 水文模型来分析地表径流对土地利用变化的响应情况。SCS 模型是 20 世纪 50 年代美国农业部水土保持局研制的一种水文模型,该模型结构相对简单,参数较少,可用于不同尺度的流域^[20]。SCS 模型最初是依据美国地带性气候和农业分区研制成的小型流域场次的洪水产流模型,目前 SCS 模型已经被国内外学者广泛应用,成为了一种可以用于资料缺乏地区的分布式水文模型,能较好地应用于城市化地区流域^[21]。

SCS 水文模型的产流计算公式如下^[22]:

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

(2)

式中: Q 为径流的深度(mm); P 为降水量(mm); S 为滞留系数(mm)。

滞留系数 S 与集水区的土壤质地、土地利用方式和降雨前的土壤湿润状况等流域特征有关,会由于它们的变化而变化^[23]。 S 的计算如公式(3)所示。

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

(3)

式中: CN 是一个无量纲参数,综合表示了研究区水文特征、土壤质地、降雨前的土壤湿润程度和土地利用类型之间的关系,从而反映了降水量与产生径流量的关系,其取值范围为 0~100。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化

采用 Majority/minority 方法进行分类后处理,得到 1993 年、2004 年和 2014 年研究区的土地利用专题图。利用 ENVI 软件统计研究区 1993 年、2004 年、2014 年的各土地利用类型面积,结果见表 2。

表 2 1993 年、2004 年 2014 年嘉陵江流域下游

土地利用类型面积					km ²
年份	水域	林地	草地	耕地	居民点及 工矿用地
1993	98.43	595.76	1624.84	2531.37	71.84
2004	98.95	689.58	2378.57	1550.08	205.06
2014	127.92	863.33	2451.12	749.43	730.44

嘉陵江流域下游 1993—2014 年水域、林地、草地和居民点及工矿用地都逐渐增加,只有耕地逐渐减少。面积增加最多的是草地,增加了 826.28 km²,增加最少的是水域,增加了 29.49 km²,耕地面积减少 1 781.94 km²。研究区面积增加的地类均由耕地转化而来。1993 年耕地面积最大,占总面积的 51.43%;2004 年和 2014 年草地面积最大,分别占总面积的 48.32%和 49.80%。居民点及工矿用地所占面积由 1993 年的 1.46%增长到 2014 年的 14.84%,主要增长在嘉陵江流域下游的南部,包括重庆市的沙坪坝区、渝中区、江北区和渝北区。

3.1.1 土地利用的空间转移 根据 1993 年、2004 年和 2014 年嘉陵江流域下游土地利用分类结果,计算 1993—2004 年、2004—2014 年的土地利用空间转移矩阵,见表 3 和表 4。

表 3 1993—2004 年土地利用类型面积转移矩阵

km ²						
土地利用类型		1993 年				
		草地	耕地	居民点及 工矿用地	林地	水域
2004 年	草地	1047.14	1280.48	0.55	50.14	0.25
	耕地	503.48	975.95	7.26	63.00	0.39
	居民点及工矿用地	30.05	103.88	61.01	3.89	6.23
	林地	44.01	161.39	0.94	478.56	4.68
	水域	0.16	9.67	2.07	0.17	86.87
	转移总量	577.70	1555.42	10.83	117.20	11.56

表 4 2004—2014 年土地利用类型面积转移矩阵

km ²						
土地利用类型		2004 年				
		草地	耕地	居民点及 工矿用地	林地	水域
2014 年	草地	71.14	43.49	1.59	11.80	0.27
	耕地	11.66	28.40	4.22	3.36	0.14
	居民点及工矿用地	11.18	16.17	86.20	4.45	6.32
	林地	5.68	11.41	1.33	79.46	0.78
	水域	0.33	0.54	6.65	0.93	92.49
	转移总量	28.86	71.60	13.80	20.54	7.51

1993—2004 年研究区土地利用类型转移总量由大到小依次为耕地、草地、林地、水域和居民点及工矿用地,其中转移总量最大的是耕地 1 555.42 km²,主

要转换成了草地。草地主要转化为耕地,转移了 503.48 km²;林地主要转化为耕地和草地,分别转移了 63.00 km²,50.14 km²;水域主要转化为居民点及工矿用地,转移了 6.23 km²。2004—2014 年土地利用类型转移由大到小分别为耕地、草地、林地、居民点及工矿用地和水域。耕地主要转化为草地和居民点及工矿用地,分别转移了 674.01 km²,250.58 km²;草地主要转化为耕地和居民点及工矿用地,分别转移了 277.32 km²,266.02 km²;林地主要转化为草地,转移了 81.35 km²;居民点及工矿用地和水域相对比较稳定,转出的面积较小。

3.1.2 土地利用变化幅度 计算研究区 1993—2004 年、2004—2014 年、1993—2014 年 3 个时间阶段不同土地利用类型的变化幅度,结果见表 5。

表 5 1993—2014 年研究区不同土地利用类型变化幅度

年份	%				
	水域	林地	草地	耕地	居民点及 工矿用地
1993—2004	0.53	15.75	46.39	-38.77	185.44
2004—2014	29.28	25.20	3.05	-51.65	256.15
1993—2014	29.96	44.91	50.85	-70.39	916.59

由表 5 可以看出 1993—2014 年水域、林地、草地

和居民点及工矿用地的变化幅度都增加,而耕地的变化幅度为减少。1993—2004 年、2004—2014 年居民点及工矿用地的增幅都为最大。1993—2014 年居民点及工矿用地的增幅达到 916.59%,耕地的减少幅度达到 70.39%。1993—2014 年草地的增幅仅次于居民点及工矿用地,共增长了 50.85%。

由上述分析可以看出 1993—2014 年,嘉陵江流域下游土地利用以耕地转出为主,耕地是研究区唯一减少的土地利用类型,而且减少量较大,居民点及工矿用地和草地以转入为主,其他用地的空间转移较为复杂。

3.2 土地利用变化的地表径流响应

3.2.1 降水量 根据研究区内 4 个气象站点(渝北、沙坪坝、合川和北碚)1981—2010 年的气象数据显示,降雨主要集中于 5—9 月,6 月份的降水最多,所以本研究选用 4 个站点 6 月份平均降水量的平均值作为研究区的统一降水量,最后得出研究区 6 月份平均降水量的平均值为 193.58 mm,为了方便计算,使用 190 mm 作为研究区的统一降水量。

3.2.2 土壤类别 不同土壤的结构以及理化性质决定了其入渗率和产流能力的差异。在 SCS 模型中,根据土壤渗透性和导水性差异,将土壤分为 4 类(表 6)。

表 6 SCS 模型水文土壤组的划分标准^[24]

土壤分类	土壤性质	最小渗透率/(mm·h ⁻¹)
A	厚层沙,厚层黄土,团粒化粉砂土	7.26~11.43
B	薄层黄土,砂壤土	3.81~7.26
C	黏壤土,薄层砂壤土,有机质含量低土壤,粘质含量高土壤	1.27~3.81
D	吸水后显著膨胀的土壤,塑性黏土,某些盐渍土	0~1.27

研究区的土壤类别主要有始成土、潜育土和淋溶土。结合嘉陵江流域下游的实际情况,根据 SCS 模型的土壤分类标准将研究区土壤重分类为 B,C,D3 类,分布情况如图 1 所示。

3.2.3 CN 值 CN 值的大小间接表示了不同土地利用类别和土壤组合的产流情况。由于土壤属性比较稳定,所以一般情况下,当降雨量一定时,土地利用类别的变化将引起 CN 值的变化。同时 CN 值还受土壤湿润程度的影响,根据研究区前 5 d 降雨总量分成了干燥(AMC I)、中等(AMC II)、湿润(AMC III)3 种状态。本文以前期土壤湿润程度为正常状态(AMC II)对嘉陵江流域下游展开研究。

根据 SCS 模型的 CN 值查算表^[22],结合嘉陵江流域下游的土地利用和土壤数据,参考前人运用 SCS 模型时确定 CN 值的矩阵,确定了嘉陵江流域下游在土壤湿润程度为中等状态(AMC II)下的 CN 值矩阵(表 7)。

3.2.4 地表径流的响应分析 运行 SCS 模型,需要统计土地利用类型—土壤组的面积。在 ArcGIS 软件中将嘉陵江流域下游 1993 年、2004 年和 2014 年的土地利用类型数据和土壤类型数据通过融合和叠加分析,统计出不同土地利用类型下对应的不同土壤类型面积。

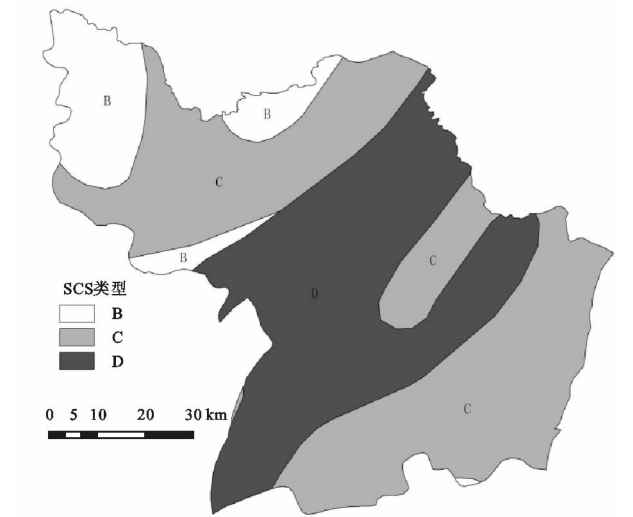


图 1 嘉陵江流域下游水文土壤分类

表 7 嘉陵江流域下游在 AMC II 条件下 SCS 模型的 CN 值

土地利用类别	土壤类别		
	B	C	D
耕地	78	85	89
林地	55	70	77
草地	60	74	80
居民点及工矿用地	85	90	92
水域	100	100	100

利用 SCS 模型对嘉陵江流域下游研究区 1993 年、2004 年和 2014 年的不同土地利用—土壤组的径流量情况进行模拟。在本研究中,整个研究区域都以 190 mm 作为统一的降水量,1993 年的平均径流深度为 132.877 mm,总量为 65 385.63 万 m³;2004 年的平均径流深度为 127.450 mm,总量为 62 715.10 万 m³;2014 年的平均径流深度为 126.918 mm,总量为 62 453.62 万 m³。由于研究区内没有可用的径流观测数据,因此无法对 SCS 模型的模拟结果进行直接

有效的验证,但从 SCS 模型可以看出 SCS 模型的模拟结果主要受降水量和 CN 值的影响,降水量数据是实测数据,而 CN 值可以对比已有的研究成果来间接验证模拟结果的合理性^[25-28]。

为了更加直观地分析研究区地表径流对土地利用类型变化的响应,将流域内的径流深度模拟结果划分为 4 个等级,分别制作出 1993 年、2004 年和 2014 年嘉陵江流域下游基于 SCS 模型的地表径流深度模拟结果图(图 2)。由于林地的土层深度和根系深度均较大,提高了土壤有效含水量,产水量较小;耕地和草地的根系深度较小,土壤有效含水量偏低,产水量相对于林地有所增加;居民点及工矿用地多为不透水面,降水难以下渗,容易产流,产流量较大。对比土地利用变化和地表径流深度变化可以看出从 1993—2014 年,随着城市的发展,居民点及工矿用地大幅增加,沙坪坝区、渝中区、江北区和渝北区的径流深度也明显增大。

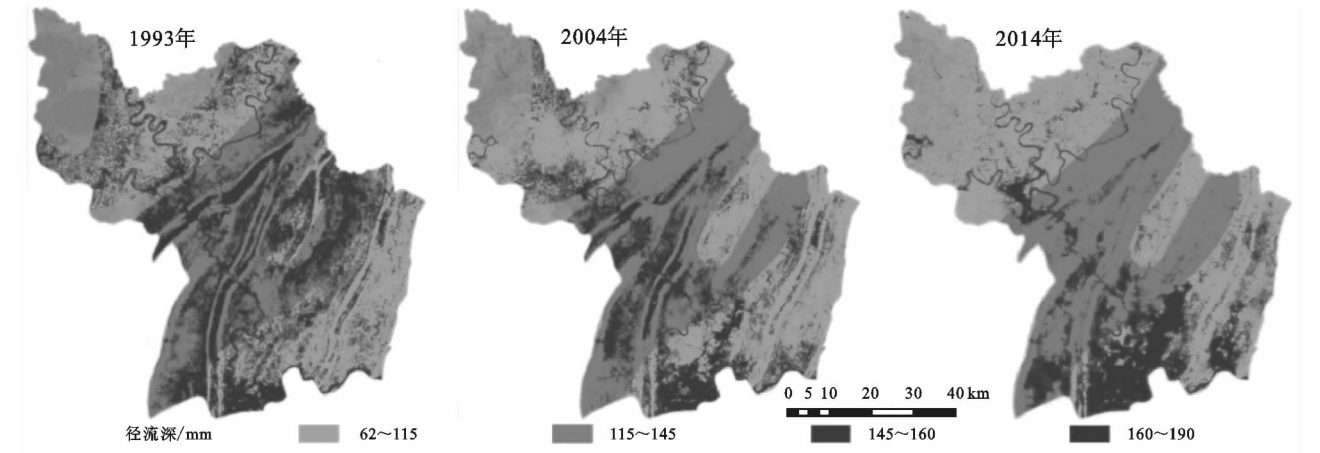


图 2 1993 年、2004 年、2014 年嘉陵江流域下游地表径流深度模拟结果

产流系数为产流量与降水量的比值,1993 年、2004 年、2014 年研究区的产流系数分别为 0.699, 0.671, 0.668, 2014 年低于 1993 年和 2004 年。径流量模拟结果和各年不同土地利用—土壤组的产流量贡献率见表 8。

土地利用—土壤组面积发生变化,对其产流能力带来不同程度的影响,进一步对地表径流产生影响。1993—2014 年,嘉陵江流域下游草地—B,C,D 类的面积百分比分别增加 4.68%,3.85%,8.25%,年产流贡献率分别增加了 2.86%,4.28%,8.88%;耕地—B,C,D 类的面积百分比分别减少 6.09%,13.89%,16.21%,年产流贡献率分别减少了 5.62%,14.78%,18.87%;居民点及工矿用地—B,C,D 类的面积百分比分别增加 0.37%,8.67%,4.35%,年产流贡献率分别增加了 0.42%,10.98%,5.70%;林地—B,C,D 类的面积百分比分别增加 0.93%,1.03%,

3.47%,年产流贡献率分别增加了 0.45%,1.00%,3.65%;水域—B,C,D 类的面积百分比分别增加 0.13%,0.34%,0.13%,年产流贡献率分别增加了 0.20%,0.60%,0.23%。

从表 8 可以看出,1993 年耕地产流能力较强,产流量较大,这是由于该阶段研究区耕地面积比重较大,由于农业活动频繁,使得土壤间孔隙增大,质地变疏松,加大了降水过程产生径流的概率。草地具有保持水土的作用,但由于 2014 年和 2004 年的草地面积相对于 1993 年大幅增加,所以草地的整体产流量也大幅增加。居民点及工矿用地虽然产流量较大,但由于其面积所占比重较小,所以整体产流量较小。随着城镇化进程的加快,2014 年比 1993 年的居民点及工矿用地面积增加 658.6 km²,B,C,D 这 3 种土壤类型的居民点及工矿用地,其产流量分别增加了 258.17 万 m³,6 819.55 万 m³,3 551.94 万 m³。

表 8 1993 年、2004 年、2014 年土地利用—土壤组的径流量及产流量贡献率

土地利用 类型	土壤 类型	径流总量(万 m ³)/产流量贡献率(%)		
		1993 年	2004 年	2014 年
草地	B	1295.62/1.98	2299.54/3.67	3021.15/4.84
草地	C	11702.60/17.90	14812.57/23.62	13851.00/22.18
草地	D	5473.46/8.37	9979.82/15.91	10775.80/17.25
耕地	B	5252.15/8.03	3319.66/5.29	1508.13/2.41
耕地	C	15490.89/23.69	9373.73/14.95	5566.58/8.91
耕地	D	16356.60/25.02	10006.62/15.96	3841.11/6.15
居民点及工矿用地	B	45.88/0.07	138.87/0.22	304.05/0.49
居民点及工矿用地	C	911.67/1.39	2473.21/3.94	7731.22/12.38
居民点及工矿用地	D	192.85/0.29	676.39/1.08	3744.79/6.00
林地	B	10.30/0.02	101.35/0.16	292.68/0.47
林地	C	2339.76/3.58	2824.01/4.50	2860.49/4.58
林地	D	4446.77/6.80	4832.57/7.71	6529.47/10.45
水域	B	168.79/0.26	476.46/0.76	285.90/0.46
水域	C	1196.91/1.83	162.16/0.26	1517.83/2.43
水域	D	501.38/0.77	1238.15/1.97	623.42/1.00
总量		65385.63/100	62715.10/100	62453.62/100

4 结 论

人类活动通过改变土地利用情况间接地影响着地表径流。在人口快速增长和经济高速发展的大背景下,在可持续发展和资源环境领域,研究土地利用变化对地表径流的影响显得尤为重要。本文通过研究嘉陵江流域下游地表径流对土地利用变化的响应,得出主要结论如下:

(1) 随着嘉陵江流域下游的高速发展,土地利用方式也发生了巨大变化。1993—2014 年,流域内土地利用变化趋势以耕地转出为主,居民点及工矿用地和草地则以转入为主,其他用地的空间转移较为复杂。耕地是整个研究阶段唯一减少的土地利用类别,其他类型的土地按增加量由大到小依次为草地、居民点及工矿用地、林地和水域。

(2) 本研究以 190 mm 作为嘉陵江流域下游的统一降水量,通过 SCS 水文模型模拟了研究区 1993 年、2004 年和 2014 年的地表径流,发现地表径流的深度、地表径流量以及产流系数都逐渐减小。从空间分布上看,嘉陵江流域下游研究区内产流能力南部地区>中部地区>北部地区。不同土地利用的产流量受土地利用类型面积的影响,当土地利用—土壤组面积发生变化时,其对应的产流能力也会发生变化,进而影响流域地表径流。

本文主要考虑自然因素的情况下应用 SCS 模型模拟研究区地表径流,量化分析了地表径流对土地利用变化的响应状况,但未考虑人为因素。在以后的研

究中可以综合考虑人为因素,使结果更加符合研究区的实际情况。

参考文献:

[1] 李晨曦,吴克宁,查理思. 京津冀地区土地利用变化特征及其驱动力分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016 (S1):252-255.

[2] 王锋. 基于遥感的土地利用变化对径流的影响研究[D]. 河北邯郸:河北工程大学, 2016.

[3] 张殷俊,陈爽,相景昌. 河流近域土地利用格局与水质相关性分析:以巢湖流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2011,20(9):1054-1061.

[4] 李昌峰. 土地利用变化对水资源影响研究的现状和趋势[J]. 土壤, 2002,34(4):191-196.

[5] 彦立利. 石羊河流域山区土地利用变化及其对地表径流的影响研究[D]. 兰州:兰州大学, 2010.

[6] 王根绪,张钰,刘桂民,等. 马营河流域 1967—2000 年土地利用变化对河流径流的影响[J]. 中国科学:地球科学, 2005,35(7):671-681.

[7] Baker T J, Miller S N. Using the soil and water assessment tool(SWAT)to assess land use impact on water resources in an East African watershed[J]. Journal of Hydrology, 2013,486(8):100-111.

[8] Viola M R, Mello C R, Besko W S, et al. Impacts of Land-use Changes on the Hydrology of the Grande River Basin Headwaters, Southeastern Brazil[J]. Water Resources Management, 2014,28(13):4537-4550.

[9] 赵安周,赵玉玲,刘宪锋,等. 气候变化和人类活动对渭河流域蓝水绿水影响研究[J]. 地理科学, 2016,36(4): 571-579.

- [10] Stanley A C, Misganaw D. Detection of changes in stream-flow and floods resulting from climate fluctuations and land use-drainage changes[J]. *Climatic Change*, 1996, 32: 411-421.
- [11] Reshmidevi T V, Jana R, Eldho T I. Geospatial estimation of soil moisture in rain-fed paddy fields using SCS-CN-based model[J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95(4): 447-457.
- [12] 史培军, 袁艺, 陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响[J]. *生态学报*, 2001, 21(7): 1041-1049.
- [13] 郭宗锋, 马友鑫, 李红梅, 等. 流域土地利用变化对径流的影响[J]. *水土保持研究*, 2006, 13(5): 139-142.
- [14] 陶艳成, 华璿, 卢远, 等. 钦江流域土地利用变化对径流的影响[J]. *中国水土保持*, 2013(6): 34-38.
- [15] Fu S H, Zhang G H, Wang L, et al. Initial abstraction ratio in the SCS-CN method in the loess plateau of China[J]. *Transactions of the Asabe*, 2011, 54(1): 163-169.
- [16] 刘丰, 刘静玲, 张婷, 等. 白洋淀近 20 年土地利用变化及其对水质的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(10): 1868-1875.
- [17] 赵鹏, 夏北成, 秦建桥, 等. 流域景观格局与河流水质的多变量相关分析[J]. *生态学报*, 2012, 32(8): 2331-2341.
- [18] Langroodi S H M, Masoum M G, Nasiri H, et al. Spatial and temporal variability analysis of groundwater quantity to land-use/land-cover change in the Khanmir-za agricultural plain in Iran[J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2015, 8(10): 8385-8397.
- [19] 项颂, 庞燕, 窦嘉顺, 等. 不同时空尺度下土地利用对洱海入湖河流水质的影响[J]. *生态学报*, 2018, 38(3): 876-885.
- [20] 徐苏, 张永勇, 窦明, 等. 长江流域土地利用时空变化特征及其径流效应[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(4): 426-436.
- [21] 张改英. 基于 SCS-CN 方法的水文过程计算模型研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2014.
- [22] 李润奎, 朱阿兴, 陈腊娇, 等. SCS-CN 模型中土壤参数的作用机制研究[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(10): 1778-1787.
- [23] 徐刘凯, 王全金, 向速林. 应用 SCS 模型模拟清丰水流域产汇流量[J]. *华东交通大学学报*, 2011, 28(4): 84-88.
- [24] USDA. SCS National Engineering Handbook[M]. Washington: US. Government Print Office, 1972.
- [25] 马亚鑫, 周维博, 宋扬. 西安市主城区土地利用变化及其对地表径流的影响[J]. *南水北调与水利科技*, 2016, 14(5): 49-54, 90.
- [26] 张菲菲. 松花江流域哈尔滨段土地利用变化及其对地表径流影响的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2016.
- [27] 杨星明. 基于 SCS 模型的小流域降雨径流估算及实例分析[J]. *水资源研究*, 2016, 5(2): 162-166.
- [28] 曹言, 柴素盈, 王杰, 等. 昆明市主城区土地利用变化对地表径流的影响[J]. *水电能源科学*, 2018, 36(8): 22-25, 38.

(上接第 140 页)

- [15] 李斌斌, 李占斌, 宇涛, 等. 基于归一化植被指数的流域植被覆盖分形维数研究[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(15): 239-247.
- [16] 李薇, 谈明洪. 太行山区不同坡度 NDVI 变化趋势差异分析[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(4): 509-519.
- [17] 吴志杰, 何国金, 黄绍霖, 等. 南方丘陵区植被覆盖度遥感估算的地形效应评估[J]. *遥感学报*, 2017, 21(1): 159-167.
- [18] 崔英, 何意, 计强, 等. 南水北调中线水源地堵河流域降水变化分析[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(14): 2657-2660.
- [19] 姚道强, 任玮颖, 徐茂玲. 堵河流域致洪暴雨气候特征分析[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(18): 9623-9626.
- [20] 朱长明, 沈占锋, 骆剑承, 等. 基于 MODIS 数据的 Landsat-7 SLC-off 影像修复方法研究[J]. *测绘学报*, 2010, 39(3): 251-256.
- [21] 马娜, 胡云锋, 庄大方, 等. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J]. *地理科学*, 2012, 32(2): 251-256.
- [22] 陈云浩, 李晓兵, 史培军, 等. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J]. *植物生态学报*, 2001(5): 588-593.
- [23] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79(2): 213-224.
- [24] 马明国, 董立新, 王雪梅. 过去 21a 中国西北植被覆盖动态监测与模拟[J]. *冰川冻土*, 2003(2): 232-236.
- [25] 王毅, 郭跃. 喀斯特地貌区植被覆盖与地形因子的空间关系分析: 以贵州普定县为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(1): 157D167.
- [26] 张静, 任志远. 汉江流域植被净初级生产力时空格局及成因[J]. *生态学报*, 2016, 36(23): 7667-7677.
- [27] 张方方, 齐述华, 舒晓波, 廖富强. 南方山地丘陵土地利用类型的地形影响 GIS 分析: 以江西省为例[J]. *地球信息科学学报*, 2010, 12(6): 784-790.