

# 五华河流域景观格局演变对径流泥沙的影响

徐炫清, 陈裕婵, 李青圃, 张正栋

(华南师范大学 地理科学学院, 广州 510631)

**摘要:**根据五华河流域 1981—2011 年逐月的气温、降水、径流量和输沙量数据,以及 1991 年、2000 年和 2011 年的 Landsat TM 遥感影像,运用景观格局指数分析方法和统计学方法,从景观水平和斑块类型水平两方面探讨了景观格局演变对径流泥沙的影响。结果表明:景观水平上,景观多样性指数(SEI)和景观边缘密度(ED)与年径流量和年输沙量呈正相关,而景观形状指数(PSCV, AWMSI, AWMPFD)与年径流量、年输沙量、输沙量变差系数呈负相关。类型水平上,林地景观破碎度(PD)和边缘密度(ED)、草地形状指数和边缘密度,建筑用地的斑块破碎度与年径流量、输沙量有明显的正相关关系,而林地斑块形状指数,草地和耕地斑块破碎度,建筑用地边缘密度和形状指数则与年径流量和输沙量呈负相关关系。同时,林地斑块形状指数、草地和耕地斑块破碎度、建筑用地边缘密度和形状指数均与输沙量变差系数存在明显的正相关关系。

**关键词:**水文学; 景观格局; 径流; 泥沙; 五华河流域

中图分类号:P332.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0231-06

## Effects of Landscape Patterns on Runoff and Sediment in Wuhua River Basin

XU Xuanqing, CHEN Yuchan, LI Qingpu, ZHANG Zhengdong

(College of Geographical Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** Soil erosion problem in Wuhua River Basin was concerned from the perspective of landscape pattern. Based on the temperature, rainfall, runoff, and sediment data in 1981 to 2011 and Landsat TM remote sensing images (1991, 2000, 2011), and landscape patterns (landscape-level and class-level), landscape pattern index analysis and statistical methods were used to analyze the effects of landscape patterns on runoff and sediment. The results showed that: at landscape level, landscape diversity index (SEI), and landscape edge density (ED) were positively associated with runoff and sediment, while landscape shape indexes (PSCV, AWMSI, AWMPFD) were negatively associated with runoff, sediment load, and sediment variation coefficient; at class level, the edge density (PD) and fragmentation (ED) of woodland, the shape index and edge density of grassland, and construction land fragmentation were closely related to runoff and sediment yield, while the patch shape index and area index of woodland, the patch fragmentation of grassland and farmland, the edge density, area and shape index of building land showed a negative relationship with runoff and sediment load; in addition, the shape index of woodland, fragmentation of grassland and arable land, and the edge density, plaque area and shape index of building land had significant positive correlation with sediment variation coefficient.

**Keywords:** hydrology; landscape pattern; runoff and sediment yield; Wuhua River Basin

水土流失是区域生态恶化的集中表现,在我国南方山地丘陵区,水土流失不仅会导致土壤肥力下降,还会引起滑坡、塌方、泥石流等次生地质灾害,故为实现我国南方山区的可持续发展,就必须关注和研究流域水土流失问题<sup>[1]</sup>。20 世纪 80 年代,韩江上游梅江

地区是广东省水土流失最严重的地区,黄文辉等通过逐个检测梅江流域水文测站的径流泥沙变化,发现梅江的水沙主要来自五华河<sup>[2]</sup>。大多学者在研究五华河流域的水土流失问题时指出气候、地形、土壤等自然因素是五华河流域水土流失的潜在因素,而人类不

不合理活动是诱发严重水土流失的主导因素<sup>[3-6]</sup>。

河川径流能够反映流域的产流汇流状况,而河川泥沙则能体现流域的土壤侵蚀状况,故五华河的径流泥沙的变化不仅反映了河川的发展变迁,也间接反映了流域的水土流失状况<sup>[7]</sup>。人类活动通过逐步改变下垫面特性而引起土地利用方式的变化,进而导致流域景观格局的变化<sup>[8]</sup>,景观格局与生态水文过程的关系是景观生态学研究的重要内容<sup>[9]</sup>。不同土地利用景观对地表径流的截留、地表水分的蒸散发和土壤水分的下渗等过程的影响不同,由此便会带来不同的水文效应。在我国,景观格局的生态水文效应研究多集中在干旱半干旱区,如傅伯杰、王计平等以小流域为尺度,对黄土高原景观格局演变与流域径流泥沙变化的响应关系作了大量研究<sup>[10-14]</sup>,但学者对我国南方亚热带丘陵区景观格局演变与径流泥沙的响应关系研究较少,而此类问题的研究能进一步丰富景观生态学研究的应用领域。

本文从流域尺度上,用 Mann-Kendall 法和滑动  $t$  检验法等数理统计法分析 1981—2013 年五华河径流泥沙的年内年际变化趋势,再利用 1991 年、2000 年和 2011 年 3 期 Landsat TM 遥感影像,运用景观指数法,从类型水平和景观水平分析五华河流域景观格局变化与径流泥沙的相关关系,旨在为流域的水土流失治理和生态规划决策提供科学依据。

## 1 研究区概况

五华河是韩江上游梅江的一级支流,发源于广东省龙川县迴龙镇东北面的亚鸡寨,北纬  $23^{\circ}48'—24^{\circ}26'$ ,东经  $115^{\circ}14'—115^{\circ}46'$ ,其支流主要有桥头水、鹤市河、潭下河和矮车河,于水寨汇入琴江,全长 105 km,流域面积  $1\,832\text{ km}^2$ ,流域内仅布设有 1 个水文站,即河子口水文站,该站设立于 1981 年,集水面积为  $1\,031\text{ km}^2$ ,是流域中下游控制站,该站点水文数据完整,且时间序列较长,符合本研究的需求。五华站和龙川站为流域附近的国家气象站,气象数据源于中国地面气候资料,具有一定的代表性。流域为亚热带季风气候,多年平均温度为  $21.6^{\circ}\text{C}$ ,夏秋季节多吹东南风,降水丰沛,多年平均降水量为  $1\,465.2\text{ mm}$ 。流域内多山地、丘陵,海拔  $200\sim 400\text{ m}$ ,山坡陡峻,坡度较大。流域土壤类型主要有黄壤、赤红壤、红壤和紫色土,其中砂页岩赤红壤广泛分布在山坡地带,其土壤母质主要为花岗岩,风化壳松散深厚,含砂量大,紫色土主要分布在低丘陵区,颜色深,吸热性强,易受干旱,夏秋季节高强度的降水冲刷地表,易造成坡面侵蚀<sup>[4]</sup>。流域自然植被多为稀疏的马尾松—芒箕—

岗松群落或马尾松—桃金娘—蔗鹧草群落<sup>[6]</sup>,还有一定面积的光板山,自然林面积较少,近 20 a 来经济林面积大增。

## 2 材料与方法

### 2.1 气象水文数据处理方法

采用五华站、龙川站提供的 1981—2013 年逐月气温、降水量数据,及河子口水文站提供的 1981—2013 年逐月径流量、逐月输沙量数据,分别用不均匀系数( $C_r$ )和变差系数( $C_v$ )描述径流泥沙的年内变化特征,用一元线性回归法、滑动平均法分析径流的年际变化趋势,最后利用 Mann-Kendall 法和滑动  $t$  检验法检测径流泥沙的年际突变点。

### 2.2 土地利用矢量图的制作和景观指数的选取

参考全国土地利用分类方法和韩江流域土地利用图,将五华河流域土地利用类型分为 6 种:林地,草地,耕地,建筑用地,水域和未利用用地。选取五华流域 1991 年、2000 年和 2011 年的 Landsat TM 影像(包含 7 个波段,波段 1—5 和波段 7 的空间分辨率为  $30\text{ m}$ ),用 ENVI 软件对 1991 年、2000 年和 2011 年三期五华河流域的 Landsat TM 遥感影像进行监督分类。参考前人在景观指数选取上的经验,结合流域实际情况,最终选取斑块个数(NP)、斑块类型面积(CA)、斑块密度(PD)、斑块面积变异系数(PSCV)、边缘密度(ED)、香浓多样性指数(SDI)、香浓均匀度指数(SEI)、景观边缘总长度(TE)、面积加权的平均斑块分维数(AWMPFD)、面积加权的平均形状指标(AWMSI)10 个景观指数,并将三期景观指数进行对比,分析 1990—2011 年来五华河流域景观格局演变过程。

### 2.3 景观格局与径流泥沙响应关系探究

由于流域尺度上径流变化对土地利用格局的变化有一定的响应时间段,本文以 3 a 为响应时间,将 1991 年 2000 年和 2011 年流域景观格局的响应时段划分别定为:1992—1994 年、2000—2003 年、2011—2013 年。选取能代表五华河径流泥沙年内年际变化的指标,包括年径流量,径流年内变差系数,年输沙量、输沙量年内变差系数,采用 Pearson 相关系数法对径流泥沙因子和景观指数作相关分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 五华河流域 1981—2013 年径流泥沙时空变化特征分析

五华河径流的年内分布呈现明显的季风区特性,4—9 月为汛期,其径流量占全年的 72%,河川输沙量

则主要集中在 3—8 月份。表 1 显示了 3 个响应时段内径流泥沙的年内变化特征。径流不均匀系数( $C_r$ )可反映径流年内分布的均匀性,五华河径流三个时段的  $C_r$  值略有减小,但总体稳定在 0.5 附近,说明径流量年内分布趋于均衡。而河川输沙量的  $C_v$  值却有明显上升,说明输沙量年内分布不均匀性变大。

表 1 描述五华河流域径流泥沙年内特征的指标

响应 时间段	年平均径 流量/ $10^6\text{ m}^3$	$C_r$	年平均输 流量/ $10^4\text{ t}$	$C_v$
1992—1994 年	89.51	0.54	59.00	0.91
2000—2003 年	80.05	0.52	32.37	1.00
2011—2013 年	73.00	0.49	14.81	1.49

图 1 为五华河径流量线性模型和 5 a 滑动平均曲线,可看出 1980 年以来,五华河径流量略有下降趋势,但下降趋势不显著,其线性趋势模型为  $X_t = -0.32t + 89.98$ 。图 2 为五华河输沙量的线性模型和 5 a 滑动平均曲线,可看出 1980 年以来,五华河输沙量有明显下降趋势,其线性趋势模型为  $Y_t = -2.28t + 83.22(r^2 = 0.52)$ 。

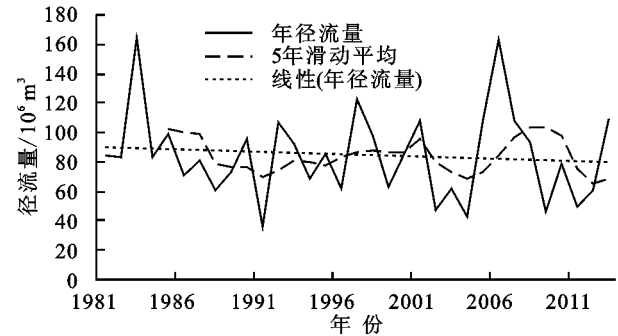


图 1 五华河径流量年际变化趋势分析

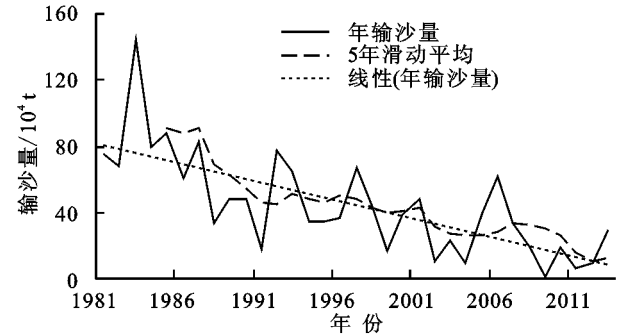


图 2 五华河输沙年际变化趋势分析

进一步采用 M-K 法分析历年河川径流泥沙的变化趋势并寻找其年际变化的突变点,从图 3 可看出径流 UF 曲线总体小于 0,  $|U_c| = |-0.45| < 1.96$ ,说明径流量总体呈下降趋势,除了 1988 年和 1989 年下降显著性水平达到 0.05 外,其余年份下降趋势不显著。从 M-K 突变检验得出可能的突变点有 8 个年份,分别是 1982 年、1983 年、1997 年、1998 年、2001 年、2004 年、2005 年、2007 年,经滑动  $t$  检验法检验,8 个年份都不是突变年,说明五华河径流量的年际变

化是一个缓慢的过程。从图 4 可看出输沙量的 UF 曲线基本在 0 以下,说明 80 年代以来五华河输沙量总体呈下降趋势,1995 年后 UF 曲线超出置信下限,表明输沙量下降趋势显著。UF 与 UB 曲线在置信区间临界线附近有 2 个交点,分别是 1994 年和 1997 年,而经过滑动  $t$  检验法的检验发现,2 个年份均不是突变点。

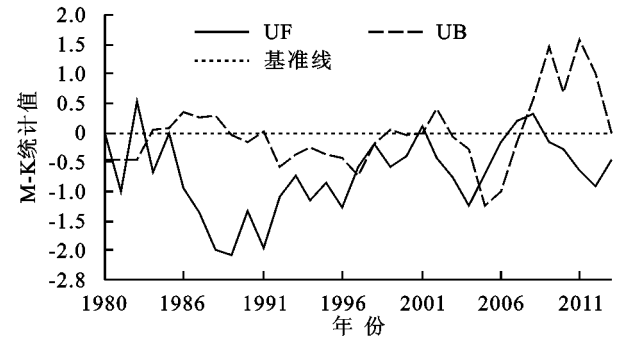


图 3 五华河流域径流的 Mann-Kendall 统计量曲线

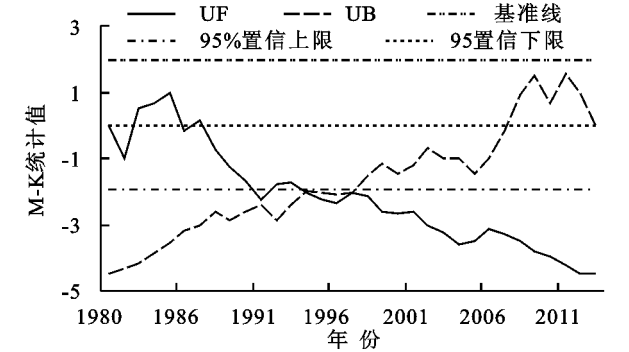


图 4 五华河流域输沙量的 Mann-Kendall 统计量曲线

目前,多数研究认为河川径流泥沙的变化与流域气候变化密切相关,其影响因子包括气温、降水、极端天气等。从图 5 可看出五华河流域年平均气温、年降水量、年径流量与年输沙量间的曲线升降关系。首先,1981 年以来流域气温保持稳定,气温与径流泥沙曲线变率的相关性较小。五华河主要的补给源是雨水补给,所以降水与径流时序保持一致,而年降水量、年径流量与年输沙量的极大值极小值出现的时间也基本一致,如 1983 年和 2006 年,三者同时出现极大值,另外 1991 年三者又同时出现极小值。五华河的含沙量主要来自流域的土壤侵蚀,强降水会加剧雨水对地表的冲刷,地表松散泥沙汇入河川导致河川含沙量的增大,故径流是河川输沙的主要动力。从变化趋势来看,1988 年后年径流量和年输沙量间的差距逐年变大,说明 1988 年后径流减少并不是导致输沙量减小的主要因素。

3.2 1981—2013 年五华河流域景观格局演变分析

利用 ENVI 软件对五华河流域 1991 年、2000 年和 2011 年三期 Landsat TM 遥感影像进行监督分类,得到三期土地利用图。

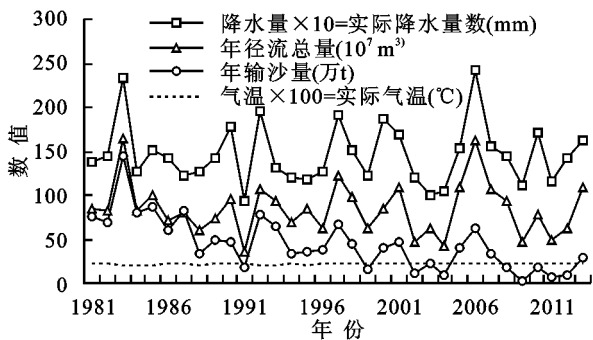


图 5 河子口水文站气象水文要素历年变化

在景观水平上对 1991 年、2000 年和 2011 年流域土地利用景观格局进行分析,得到表 2。

景观水平上,1991—2011 年,五华河流域的斑块数量(NP)先增大后减小,但数值总体从 30 856 下降到 26 933;斑块密度(PD)则先减小后增加,数值总体从 0.17 下降到 0.15,说明流域内景观破碎度总体有下降趋势,即景观内部生境面积增加,景观连续性变

好。而流域的 PSCV 值呈明显上升趋势,说明流域景观的斑块面积更分散,且斑块面积年际变率增大。从景观斑块边缘指数上看,景观的 TE,MPE,ED 值均有下降趋势,说明景观边缘异质性减小。从景观形状指数上看,流域景观的 AWMSI 值有明显上升,1991 年 AWMSI 值为 21.81,2011 年上升为 48.37,景观形状变得不规则,表明其受人类活动影响减弱。景观多样性指数的大小取决于景观所包含的景观类型的多少和各景观要素类型间面积的差异。1991—2011 年,流域景观的 SDI 值从 1.13 下降到 0.85,SEI 值则从 0.63 下降到 0.47,说明流域内景观类型丰度减小,这不利于景观物种的更新演替,究其原因,可能是近二十年来流域内推广种植经济林,导致植被类型的趋向单一。在类型水平上计算 1991 年、2000 年和 2011 年流域不同土地利用类型的景观指数,得到表 3。

表 2 五华河流域 1991—2011 年景观格局指数分析

年份	NP/个	PD/ 100 hm <sup>2</sup>	PSCV	TE/ m	MPE/ m	ED/ (m·hm <sup>-2</sup> )	AWMSI	SDI	SEI
1991	30856	0.17	6217.78	33594960.00	1088.77	182.33	21.81	1.13	0.63
2000	23903	0.13	8731.34	26156220.00	1094.27	141.94	31.78	0.92	0.51
2011	26933	0.15	12049.88	25954500.00	963.67	140.84	48.37	0.85	0.47

表 3 1991—2011 年五华河流域各景观类型水平景观指数变化

年份	斑块 类型	NP/ 个	CA/ hm <sup>2</sup>	PD/ 100 hm <sup>2</sup>	PSCV	TE/ m	ED/ (m·hm <sup>-2</sup> )	AWMPFD	AWMSI
1991	林地	5909	100120.95	0.032	4965.47	11453700	62.16	1.48	32.54
	耕地	100120.95	20861.91	0.029	718.03	5297460	28.75	1.41	5.28
	草地	8066	53718.30	0.044	1344.85	12200460	66.21	1.44	11.46
	建筑用地	6564	5038.02	0.036	256.81	2624700	14.24	1.38	1.98
2000	林地	1775.00	132409.89	0.010	3308.56	9519240	51.66	1.49	42.10
	耕地	6481.00	26669.43	0.035	885.07	7258620	39.39	1.44	7.51
	草地	8758.00	15192.63	0.048	298.93	5527920	30.00	1.37	2.42
	建筑用地	5624.00	7712.55	0.031	610.24	3050700	16.55	1.40	3.43
2011	林地	930	140032.35	0.005	2945.03	9356280	50.77	1.51	62.57
	耕地	8689	17874.27	0.047	565.54	6352380	34.47	1.41	4.06
	草地	10056	13621.23	0.055	267.83	5599320	30.38	1.37	2.18
	建筑用地	5340	10706.04	0.029	547.76	3799620	20.62	1.41	3.89

从面积指数上看,1991—2011 年五华河流域面积最大的斑块类型是林地,其占流域总面积 50% 以上,其次为草地和耕地,未利用用地和水域面积较小,所占比例均在 2% 以下,故林地是五华河流域的景观基质。1991—2011 年,流域林地、草地、建筑用地、耕地发生了明显的面积流转,流域林地覆盖率从 54% 上升到 76%,草地所占比例则从 29% 下降到 7%,结合土地利用图中景观斑块位置的变化,发现流域内的林地面积增加的部分主要是草地面积减少的部分。

1991 年流域内丘陵的山脊多为疏林地和草地,植被覆盖度较低,而 2011 年丘陵山脊植被覆盖度明显增加,多为灌木林和有林地。建筑用地占景观面积的比例从 3% 提高到 6%,面积增加了 5 668.02 hm<sup>2</sup>,说明流域的城镇建设用地增加。耕地面积在 2000 年以前有所增加,2000 年后则有所减少,结合斑块位置判断,2000 年以前,人类开垦耕地的力度较大,2000 年后,部分耕地还原为草地,也有部分沿河耕地开发为建筑用地。

从斑块密度指数上看,1991—2011 年林地的 NP,PD 和 PSCV 值逐年减小,说明林地的景观破碎度减小,林地斑块间发生了拓展与合并现象,林地内部生境面积增加,斑块面积的年际变化减小。草地的 NP 和 PD 值逐年增加,但 PSCV 值减小,说明其景观破碎度也逐年增大,草地主要镶嵌在林地和耕地间。耕地主要是沿河分布在河漫滩和山谷间,其 NP 和 PD 逐年增大,说明其景观破碎度有所增加,主要是在山谷间新增了较多斑块。建筑用地的 NP 和 PD 逐年增加,2011 年流域内建筑用地呈现连片发展,在华城镇、双头镇、鹤市镇表现尤为明显。

从斑块边缘指数和形状指数上看,1991—2011 年,林地 TE 和 ED 值变化不大,但其 AWMSI 值从 32.54 增加到 63.28,说明林地斑块几何形状越来越复杂,景观受人类活动的影响变小。草地 TE 和 ED 值明显减小,说明草地斑块的边缘形状变得规则和简单,景观受人类活动影响增强。耕地的 TE,ED 和 MPE 值、AWMSI 值均先增大后减小。

表 4 整体景观水平格局指数与径流泥沙的相关系数

指标	SDI	SEI	AWMSI	TE	ED	MPE	NP	PSCV
多年平均径流量	0.978	0.978	-0.974	0.915	0.915	0.799	0.630	-0.987
径流年内变差系数	0.917	0.917	-1.000*	0.817	0.817	0.902	0.464	-0.999*
多年平均输沙量	0.984	0.984	-0.966	0.928	0.928	0.778	0.656	-0.981
输沙量年内变差系数	-0.781	-0.781	0.972	-0.638	-0.638	-0.984	-0.217	0.956

注: \*\*. 在 0.01 水平(双侧)上显著相关,\*. 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

表 5 显示了各景观水平格局指数与径流泥沙的相关系数。其中,林地的 NP,PD,TE 和 ED 与多年平均径流量和输沙量有明显正相关关系,相关系数均在 0.9 以上,说明林地斑块越成片,景观破碎度越小,斑块边缘越简单,则年径流量和输沙量越小。CA,AWMPFD 和 AWMSI 与多年平均径流量和输沙量有明显负相关关系,即流域林地面积越大,单个斑块形状越复杂,则五华河的年径流量和输沙量越小。这个结论似乎与森林涵养水源的功能不相符,但实际上,2000 年以来大量草地和自然林转变成经济林,农民严格控制果林下层灌木和草本的生长,所以林地垂直层次发育不好,植被类型单一,持水功能减弱。但林地树冠可削减雨水对地表的直接冲刷,林地对泥沙的拦截能力优于草地,故林地面积的增大使得河川输沙量大大减小。林地的 AWMPFD 和 AWMSI 与径流年内变差系数呈明显的负相关关系,其中 MPS, PSSD 和 MPE 与年径流量的负相关关系达到 0.05 (双侧)显著水平,表明林地斑块破碎度越小,斑块几何形状越复杂,则径流变差系数越小,即径流年内分配越均匀。这说明了连通性好的景观布局有利于林

3.3 五华河景观格局演变与径流泥沙的相关关系

表 4 看出,其中 SDI,SEI,TE 和 ED 与年径流量和年输沙量均有明显的正相关关系,相关系数均在 0.9 以上。PSCV,AWMSI 和 AWMPFD 则与年径流量和年输沙量均有明显的负相关关系。1990 年以来,由于五华河流域大面积种植果树,使得流域内物种丰度变小,景观斑块面积趋于分散,景观斑块变得破碎,不利于斑块景观物种内部的繁衍与景观整体的生态维护,使得流域内植被整体的持水能力变小,导致河川径流量呈下降趋势。河川径流的减小引起输沙量的减少。流域整体的土地利用转化主要是草地变成林地,相比草地,林地树冠更能减少降水对地表的直接冲刷,所以流域的输沙量有明显的减小。

景观的 AWMSI,AWMPFD 和 PSCV 与径流变差系数有显著的负相关关系,说明景观斑块面积越分散,景观斑块几何形状越复杂,流域径流量年内波动则越小。而 AWMSI、AWMPFD 和 MPE 与年输沙量变差系数的存在明显正相关关系。

地雨季滞留降水和旱季保持水分,从而对河川径流起到削峰补枯的作用,使得径流年内波动变小。而 AWMPFD 和 AWMSI 与年输沙量变差系数有明显的正相关关系,表明林地景观破碎度越小,斑块几何形状越复杂,则输沙量年内分配越不均匀。

耕地的 NP,PD 与年径流量和输沙量呈负相关,流域耕地类型的变化主要是实行了退耕还草工程,另外也有部分耕地变成了建筑用地,这都会使得耕地的斑块破碎度增大,景观整体的持水能力变弱,导致流域的年径流量变小。退耕还草也能起到固沙的作用,而耕地变成建筑用地过程中,硬底化建设的增加反而能一定程度上减小原本耕地面积上的泥沙流失。径流年内变差系数则与耕地的 NP,PD 在 0.05(双侧)水平上有显著的负相关关系,相关系数均为 0.997,耕地斑块越破碎,径流年内分配就越趋向均匀。NP 和 PD 与年输沙量变差系数也有明显的负相关关系,相关系数为 0.982,说明耕地斑块越破碎,五华河输沙量年内分配越不均匀。

草地的 NP,PD 与多年平均径流量和输沙量有明显的负相关关系,而 CA,PSCV,TE,ED,AWMPFD 和

AWMSI 则与年径流量和输沙量有明显的正相关关系。径流年内变差系数则与草地的 NP,PD 在 0.05(双侧)水平上有显著的负相关关系,相关系数均为 0.998,表明草地斑块越破碎,径流年内分配反而越均匀,流域年内旱涝灾害发生的概率则变小。而草地的 NP,PD 则与输沙量年内变差系数有明显的正相关关系。

建筑用地的 NP,PD 与年径流量和输沙量有明显的正相关关系,而 CA,TE,ED,AWMPFD 和 AWMSI 则与年径流量和输沙量有明显的负相关关系。建筑用地是人类活动强烈改变地表景观的表征,地面不透水层的建设将严重破坏流域的水循环系统,故建筑用地面积的增加和斑块破碎度减小,都会导致

河川年径流量减少。但硬底化建设一定程度上也能起到固沙的作用,例如山间泥路的硬底化能减少雨水直接冲刷地表土壤带来的水土流失,故建筑用地的增加一定程度能使河川输沙量减小。径流年内变差系数则与建筑用地的 NP,PD 有明显正相关关系,与 CA,TE,ED,AWMPFD 和 AWMSI 均有明显的负相关关系,其中与 TE 和 ED 的负相关关系达到 0.05 显著性水平。表明,建筑用地的面积增加、破碎度减小,斑块形状变复杂,则径流年内波动越小。年输沙量的变差系数则与 CA,TE,ED 有明显正相关关系,表明建筑用地面积增大,斑块边缘变得越复杂,输沙量年内波动越大。

表 5 斑块水平指数与径流泥沙的相关系数

类型	指标	NP	CA	PD	PSCV	TE	ED	AWMPFD	AWMSI
林地	多年平均径流量	0.961	-0.967	0.961	0.964	0.932	0.933	-0.939	-0.958
	径流年内变差系数	0.887	-0.897	0.887	0.892	0.843	0.843	-0.989	-0.996
	多年平均输沙量	0.970	-0.975	0.970	0.972	0.944	0.944	-0.927	-0.948
	输沙量年内变差系数	-0.781	-0.781	0.972	-0.638	-0.638	-0.984	-0.217	0.956
耕地	多年平均径流量	-0.963	0.254	-0.963	0.402	-0.606	-0.606	-0.010	0.268
	径流年内变差系数	-0.997*	0.440	-0.997*	0.575	-0.437	-0.437	0.188	0.453
	多年平均输沙量	-0.954	0.221	-0.953	0.370	-0.633	-0.633	-0.044	0.235
	输沙量年内变差系数	0.982	-0.659	0.982	-0.768	0.187	0.187	-0.438	-0.670
草地	多年平均径流量	-0.967	0.919	-0.967	0.901	0.915	0.901	0.901	0.908
	径流年内变差系数	-0.998*	0.823	-0.998*	0.818	0.797	0.797	0.807	0.816
	多年平均输沙量	-0.958	0.932	-0.958	0.929	0.915	0.915	0.921	0.928
	输沙量年内变差系数	0.979	-0.646	0.979	-0.639	-0.612	-0.612	-0.625	-0.637
建筑用地	多年平均径流量	0.977	-0.993	0.977	-0.822	-0.971	-0.971	-0.990	-0.979
	径流年内变差系数	0.915	-0.997	0.915	-0.693	-0.999*	-0.999*	-0.941	-0.920
	多年平均输沙量	0.983	-0.989	0.983	-0.841	-0.962	-0.962	-0.994	-0.986
	输沙量年内变差系数	-0.778	0.941	-0.778	0.481	0.976	0.976	0.821	0.786

注: \* . 在 0.01 水平(双侧)上显著相关; \* . 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

4 结论与讨论

(1) 1981—2013 年,五华河径流量年内变差系数基本稳定,而输沙量变差系数则有明显增大。从年际变化上看,年径流量和年输沙量都呈现缓慢下降趋势,其中输沙量的下降趋势比径流量更明显。五华河流域主要的土地利用类型为林地、草地、耕地,1981 年以来,大量草地转变成林地,林地类型的破碎度减小,形态变得复杂,说明人类活动对林地的影响减小。草地景观破碎度增大,斑块形态也变得简单,建筑用地则逐渐连片扩展,景观破碎度减小,流域景观边缘形状趋于复杂。

(2) 从径流泥沙年际变化上看,流域的年径流量与年输沙量对同一景观指数的响应具有相似性。景观水平上,香浓均匀度指数、景观边缘密度与河川年径流量和年输沙量有正相关关系,而景观形状指数则与年径流

量和年输沙量负相关。类型水平上,林地的破碎度和边缘密度、草地的斑块形状指数和边缘密度、建筑用地的斑块破碎程度均与年径流量和输沙量正相关,而林地斑块形状指数和林地面积指数,草地破碎程度,耕地破碎程度,建筑用地的边缘密度、斑块形状指数、斑块面积指数则与年径流量和输沙量负相关。从径流泥沙年内变化上看,流域景观形状指数与输沙量变差系数正相关。类型水平上,林地形状指数、草地破碎度、耕地破碎度、建筑用地斑块边缘密度、形状指数和斑块面积指数均与输沙量变差系数正相关。

本文从景观格局演变的视角探究流域水文变化,实际上气候要素和人类活动均对河川径流泥沙变化均有明显影响,如何更加科学地区分两者的贡献率是后续研究的方向,建构多因子水文耦合模型能更科学地反映河川水文变化的实况。

以结合实际需要,应用新的技术方法获取更全面的评价指标体系,减少主观因素在评价中的影响,从而得到更科学更合理的流域农用地适宜性。

#### 参考文献:

- [1] 顾文,赵阿丽,徐健,等. 基于碳汇生产理念下的县南沟流域退耕还林工程实施效果评价[J]. 水土保持研究, 2014, 21(2): 144-151.
- [2] 王正淑,王继军,刘佳. 退耕地林草植被碳汇及与农业生态经济系统的关系:以陕西省县南沟流域为例[J]. 草地学报, 2016, 24(2): 263-269.
- [3] 王正淑,王继军. 县南沟流域种植业生态价值的测算与分析:基于碳汇视角[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 261-266.
- [4] 顾文,王继军,齐智娟. 不同优化情境下的县南沟流域商品型生态农业系统耦合关系[J]. 水土保持研究, 2014, 21(5): 163-168.
- [5] 李奇睿,王继军,郭满才. 基于结构方程模型的安塞县商品型生态农业系统耦合关系[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 240-247.
- [6] 王继军. 黄土丘陵区纸坊沟流域农业生态经济系统耦合过程分析[J]. 应用生态学报, 2009, 20(11): 2723-2729.
- [7] 赵庆玲,周洋,王晓军. “乡土”农用地评价:以山西省河曲县沙坪村为例[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(2): 239-245.
- [8] 邱炳文,池天河,王钦敏,等. GIS 在土地适宜性评价中的应用与展望[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(5): 20-23.
- [9] Dujmovi Ć J, Tré G D. Multicriteria methods and logic aggregation in suitability maps[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2011, 26(10): 971-1001.
- [10] 吴立忠,郭世乾,张保田. 基于 GIS 的黄土高原丘陵沟壑区的耕地地力评价研究:以天水市麦积区耕地地力评价为例[J]. 中国农业资源与区划, 2009(6): 35-41.
- [11] Malczewski J. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2006, 8(4): 270-277.
- [12] 吴涛,苏美霞. 国内农用地适宜性评价研究综述[J]. 内江师范学院学报, 2013, 28(8): 59-62.
- [13] 王丹丹,吴普特,赵西宁. 黄土高原退耕还林(草)效益评价研究进展[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 223-228.
- [14] 杜娜,王继军. 县南沟流域农业土地利用/覆被变化浅析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(6): 171-173.
- [15] 南晓娜,彭天祥,刘科伟. GIS 支持下的山地城市用地适宜性评价:以陕南岚皋为例[J]. 国土资源科技管理, 2009, 26(3): 101-105.
- [16] 齐增湘,廖建军,徐卫华,等. 基于 GIS 的秦岭山区聚落地适宜性评价[J]. 生态学报, 2015, 35(4): 1274-1283.
- [17] 李春越,谢永生. 黄土高原土地资源生态经济适宜性评价指标体系初步研究[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 53-56.
- [18] 汤国安. ArcGIS 地理信息系统空间分析试验教程[M]. 北京:科学出版社, 2012.
- [19] 张友焱,周泽福,程金花. 黄土丘陵沟壑区土地适宜性评价研究:以山西省中阳县圪针耳流域为例[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 93-95.
- [20] 汤国安,宋佳. 基于 DEM 坡度图制图中坡度分级方法的比较研究①[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 157-160, 192.
- [21] 黄志霖,傅伯杰,陈利顶. 黄土丘陵区不同坡度,土地利用类型与降水变化的水土流失分异[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(4): 11-18.
- [22] 傅伯杰,邱扬,王军,等. 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 717-722.
- [23] 莫建飞,陆甲,李艳兰,等. 基于 GIS 的广西洪涝灾害孕灾环境敏感性评估[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 33-37.

(上接第 236 页)

#### 参考文献:

- [1] 中国科学院南方山区综合科学考察队. 中国亚热带山区水土流失治理与防治[M]. 北京:科学出版社, 1989.
- [2] 黄文辉,任成均,陈志勇,等. 梅江水沙特性变化分析[J]. 人民珠江, 2007(5): 37-38.
- [3] 钟兆和. 五华县坚持长期治理乌陂河小流域成效显著[J]. 水土保持通报, 1993, 13(2): 47-49.
- [4] 杨永欢. 五华县水土流失现状及保护对策[J]. 广东水利水电, 2011(4): 69-71.
- [5] 张金泉,徐颂军. 五华县的水土流失及其分区治理[J]. 热带地理, 1989, 9(3): 213-221.
- [6] 古丽霞. 五华县水土流失现状与治理[J]. 广东建材, 2010, 26(3): 169-171.
- [7] 董磊熊,熊立华,于坤霞,等. 气候变化与人类活动对水文影响的研究进展[J]. 水科学进展, 2012, 23(2): 278-285.
- [8] 傅伯杰,陈利顶,王军,等. 土地利用结构与生态过程[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 247-255.
- [9] Turner M G. Landscape ecology: the effect of pattern on process[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1989, 20(1): 171-197.
- [10] 王计平,陈利顶,汪亚峰. 黄土高原地区景观格局演变研究综述[J]. 地理科学进展, 2010, 29(5): 535-542.
- [11] 张学霞,陈丽华. 黄土高原地区流域景观格局对水土流失的影响分析[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 95-102.
- [12] 王丽娜. 黄土高原地区小流域景观格局及其尺度效应分析[D]. 辽宁阜新:辽宁工程技术大学, 2011.
- [13] 陈鹏飞. 黄土丘陵沟壑区小流域水沙变化与土地利用格局演变的耦合研究[D]. 北京:北京林业大学, 2010.
- [14] 程复. 黄土丘陵沟壑区生态恢复背景下土地利用变化对河川径流泥沙影响研究[D]. 北京:北京林业大学, 2011.