

南方红壤丘陵区流域植被景观格局变化及水沙响应关系

廖凯涛^{1,2}, 胡建民³, 宋月君^{1,2}, 冯明军⁴, 郑海金^{1,2}

(1. 江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 南昌 330029; 2. 江西省水土保持科学研究院, 南昌 330029; 3. 江西省水利科学研究院, 南昌 330029; 4. 河海大学水文水资源学院, 南京 210098)

摘要: 以南方红壤丘陵区典型流域濂江河流域为研究对象, 依托 GIS 和 Fragstats 平台与长时间系列水沙数据, 运用景观格局指数分析和统计学方法, 分析流域景观格局和水沙变化特征及其相关性。结果表明: 流域内径流呈减少趋势, 泥沙呈增加趋势。流域内以有林地为主, 面积增加最显著的是经果林。景观水平上, 斑块面积均方差(PSCV)、香浓多样性指数(SHDI)与径流呈现正相关, 蔓延度指数(CONTAG)与径流呈现负相关; 斑块数(NP)、斑块密度(PD)、景观边缘密度(ED)、面积加权的平均形状指数(AWMSI)、香浓多样性指数与径流呈现负相关。类型水平上, 耕地的斑块面积(CA)、ED与径流呈负相关, 与泥沙呈现正相关; 有林地的形状指数(PSCV、AWMSI)与径流呈正相关, CA与泥沙呈现正相关, NP、PD与泥沙呈现负相关; 灌木林的CA、ED与径流呈负相关; 经果林的所有的指数与径流均呈现正相关, 与泥沙呈现负相关性; 同时, 草地的NP、PD与径流呈现负相关。

关键词: 水文学; 南方红壤丘陵区; 径流; 泥沙; 景观格局

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2019)03-0036-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.03.006

Effects of Vegetation Landscape Patterns on Runoff and Sediment in Red Soil Hilly Region of Southern China

LIAO Kaitao^{1,2}, HU Jianmin³, SONG Yuejun^{1,2}, FENG Mingjun⁴, ZHENG Haijing^{1,2}

(1. Key Laboratory of Soil Erosion and Prevention of Jiangxi Province, Nanchang 330029;

2. Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029; 3. Jiangxi Provincial Institute of

Water Science, Nanchang 330029; 4. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098)

Abstract: Although vegetation coverage has been restored and the ecological environment has been greatly improved through efforts of decades, the soil erosion is still serious in the red soil hilly region of Southern China. Taking the typical Lian River watershed as the study area, the effects of vegetable landscape patterns on runoff and sediment were analyzed using the long-term historical land use, runoff (1958—2017), and sediment data (1964—2017). The results showed that: The runoff in the basin was decreasing, but the sediment was increasing. Forestland was the dominant landscape, and fruit land had the largest growth rate. At landscape level, patch size coefficient of variation(PSCV), and Shannon's diversity index(SHDI) were positively associated with runoff, while contagion index(CONTAG) was negatively associated with runoff. Number of patches(NP), Patch density (PD), Edge density (ED), Area-weighted mean shape index(AWMSI), and Shannon's diversity index(SHDI) were negatively associated with sediment. At class level, the class area (CA) and edge density (ED) of farmland were negatively associated with runoff, however positively associated with sediment. The PSCV and AWMSI of forestland were positively associated with runoff, CA was negatively associated with runoff, and NP and PD were positively associated with sediment. The CA and ED of shrub forest were negatively associated with runoff. All the landscape pattern indexes of fruit land were positively associated with runoff and negatively associated with sediment. The NP and PD of grassland were negatively associated with runoff.

Keywords: hydrology; red soil hilly region of South China; runoff; sediment; landscape pattern

收稿日期: 2018-11-15

资助项目: 国家自然科学基金项目(41461058); 江西省科技计划重大项目(2015ZBBF60010, 20161BBH80072)

第一作者: 廖凯涛(1990—), 男, 工程师, 硕士研究生, 主要从事水土保持与环境遥感研究。E-mail: liaokaitao@126.com

通信作者: 胡建民(1974—), 男, 教授级高级工程师, 硕士, 主要从事水土保持与水文水资源研究。E-mail: cm201211@sina.com

植被是土壤侵蚀的主要影响因素之一,也是水土流失治理中常用的技术措施^[1]。长期以来,基于植被重建的生态恢复作为治理土壤退化和水土流失的主要技术途径在全国广泛推行。南方红壤丘陵区是我国水土流失范围最广、严重程度仅次于黄土高原的地区^[2-3]。通过几十年的努力,南方红壤丘陵大面积的水土流失地区恢复了植被覆盖,生态环境状况得到了很大的改善^[4]。水土流失作为一种生态过程,与土地利用/植被覆盖等景观格局相互作用,但以往水土流失过程研究与景观格局结合的不够紧密^[5-6]。要想有效控制水土流失,一方面要选择合适的植物物种及其搭配,另一方面也要合理地设计植被空间分布格局^[7]。目前景观格局与水土流失的关系研究,尤其是流域大尺度上的研究主要集中在黄土高原地区^[8-11],但对我国南方红壤丘陵区植被景观演变与径流泥沙的响应关系研究较少^[12]。南方红壤丘陵区是我国主要的水土流失治理区,其中赣南红壤丘陵区是典型水土流失区之一,其生态环境问题广受关注。果树种植是赣南低山丘陵区主要的土地利用方式,近30年来果园面积年均增长70%,是变化最快的土地覆被类型^[13],规模化果园开发,造成树种单一、林下灌草层缺失,导致“远看青山在,近看水土流”的林下流问题突出^[14]。

本文选取红壤丘陵区典型流域赣江上游左侧支流濂江河流域为研究区,用Mann-Kendall法和滑动 t 检验法等数理统计法分析流域1958—2017年的径流泥沙年内年际变化趋势,利用Fragstats软件和ArcGIS分析1980—2015年流域土地利用及景观格局变化,并建立其与年径流、泥沙的关系,揭示流域尺度水沙变化过程对植被格局演变的响应和关联机制,提出南方红壤丘陵区基于植被格局优化的水沙调控对策,为水土流失重点治理和生态文明建设提供科学依据。

1 研究区概况

濂江河是赣江上游贡水左岸一级支流,发源于江西省赣州市安远县欣山镇,主河道长133 km,流域总面积2 399 km²;流域面积在100 km²以上一级支流有7条。地处东经115°12′—115°39′,北纬25°02′—25°48′,涉及安远、宁都、会昌3县(图1)。流域为亚热带季风气候,多年平均气温18.7℃,秋季多吹东南风,降水丰沛,多年平均降水量1 610 mm,年径流量19.2亿m³,年水面蒸发量1 090 mm,年悬移质输沙量25.9万t,洪水多发生在4—6月。流域以低山丘陵为主,海拔95~1 078 m,落差较大,地处华南地层区,赣中南褶皱,寻乌—瑞金深断裂横穿境内;岩性主要为白垩纪花岗岩、泥盆纪红砂岩和片岩;土壤类型主要为红壤为主;林地以马尾松、杉树为主,经济林以脐橙和柑橘为主。流域内布设有1个水文站,即羊信江水文站,该站设立于

1958年,集水面积568 km²,是流域上游控制站,该站点水文数据完整径流数据从1958年开始观测至今,泥沙数据从1964年开始观测至今。

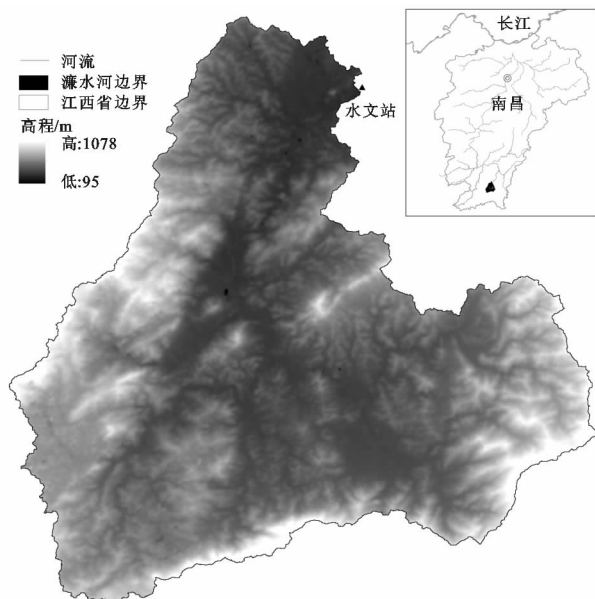


图1 濂江河流域位置

2 材料与方法

2.1 气象水文数据处理方法

采用羊信江水文站提供的1958—2017年逐月降雨量、逐月径流量、1964—2017年逐月输沙量,利用变差系数(Cv)和极值比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 土地利用和景观指数的选取

Dem数据从NASA数据统一发布平台Reverb(<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb>)上免费获取,产品空间分辨率为30 m,数据格式为GeoTIFF,参考地理坐标为WGS 84。利用ENVI 5.3对数据进行拼接,再利用ArcMap 10.2对拼接后的Dem进行填挖预处理、水流流向生成、河网提取,用于研究区边界提取。

土地利用数据采用的是1:10万的鄱阳湖流域土地利用数据(1980,1990,1995,2000,2005,2010,2015年),数据共享来源于地理国情监测云平台,该数据经过验证精度达到90%^[15-16],共有6大类,25小类,考虑研究区地形与植被类型,采用的是5大类景观类型,耕地、草地、水域、城镇居民建设用地和未利用地;林地的二级类别,有林地、稀疏林、灌木林以及经果林4类,共计9类。

利用Fragstats景观格局分析软件对流域的土地利用类型进行景观格局指数计算,参考前人^[10-12]在景观指数选取上的经验,结合流域实际情况,最终选取

了斑块类型面积(CA)、斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、斑块面积均方差(PSCV)、边缘密度(ED)、最大板块指数(LPI)、面积加权的平均形状指标(AWMSI)、景观形状指数(LSI)、景观分割度(DIVISION)、香浓多样性指数(SHDI)以及蔓延度指数(CONTAG)共计 11 个景观指数进行分析。

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 年为响应时间,将 1980,1990,1995,2000,2005,2010,2015 年流域景观格局的响应时段划分别定为:1980—1982,1990—1992,1995—1997,2000—2002,2005—2007,2010—2012,2015—2017 年。选取能代表濂江河径流泥沙年内年际变化的指标,包括年径流量、3 年滑动平均径流量、年输沙量、3 年滑动输沙量,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 流域内降雨径流泥沙时空变化特征分析

受季风气候影响,濂江河流域年内降雨在 5 月或 6 月达到每年的最大值,从 3 月开始降雨逐渐增多,到 8 月后逐渐减少,年内降雨分配不均;径流从每年 4 月进入汛期,月径流量较之前有明显增加,到 7 月径流量开始逐步变小,其中 6 月是每年径流量最大的月份,4—7 月的径流量占到了全年的 60%,年内分配极不均匀;河川输沙量则主要集中在 3—8 月;流域多年平均月径流量与月降雨量具有极强的相关性(0.950),多年平均月径流量与月输沙量具有极强的相关性(0.985),具有多水多沙、少水少沙的特点。

由图 2 可知,濂江河流域多年平均降雨量为 1 615 mm,总体呈现不明显的减小趋势。由图 3 可知,径流量年际差异大,最大年径流为 9.5 亿 m^3 (2016 年),最小年径流为 1.3 亿 m^3 (2009 年),最大与最小值相差 7 倍;自 1958 年以来,径流量略有下降趋势,但下降趋势不显著。由图 4 可知,自 1964 年以来,输沙量有明显上升趋势,其线性趋势模型为 $Y=0.1865X+2.6413$ 。式中:Y 表示为泥沙量(万 t);X 表示年份;且其年输沙量阶段划分更加明显,1964—1995 年属于少沙阶段,1997—2017 年属于多沙阶段。

进一步分析流域径流的变差系数 C_v 、极值比分别为 0.376 和 7.546,表明流域年际径流总体变化程度不大。采用 MK 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 5 可以看出,UF、UB 两条线的交叉点有多个, $|U_c|=|-0.7915|<1.96$,径流量呈现不明显的减小趋势。其年径流量可分为几个阶段:2 个显著的枯水阶段即 1963—1972 年和 1985—1991 年 2 个显著的丰水阶段即 1958—1962 年和 1992—1998

年,其余年份径流量均在年平均径流量值上下浮动。通过滑动 t 检验可以得出其在 1973,2004 年径流量发生了明显变化,发生突变。

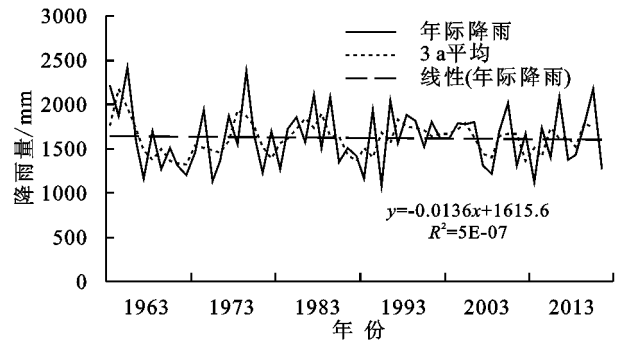


图 2 濂江河流域降雨年际变化趋势分析

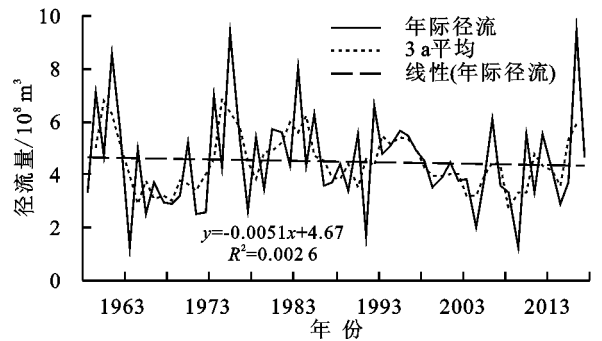


图 3 濂江河流域径流量年际变化趋势分析

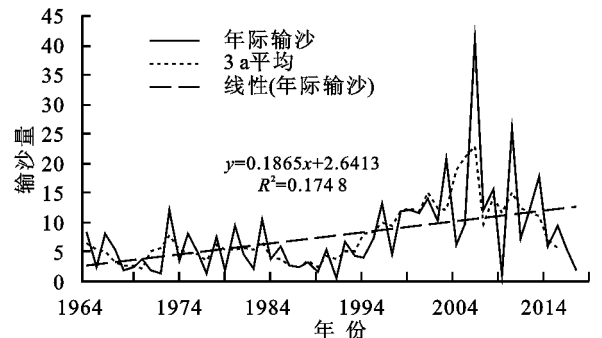


图 4 濂江河流域输沙年际变化趋势分析

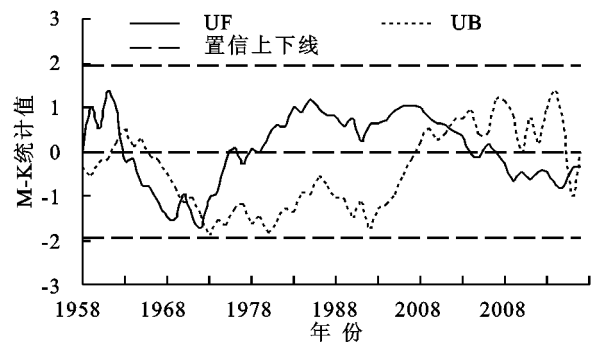


图 5 濂江河流域径流量的 Mann-Kendall 统计量曲线

从图 6 可以看出,输沙量的 UF 曲线在 1995 年之前基本在 0 以下,1995 年以后一直保持在 0 以上,说明 1995 年之后流域输沙量总体呈现增加趋势,2002 年后 UF 曲线超出置信上限,表明输沙量增加趋势显著。UF 与 UB 曲线在基准线附近有 1 个交点,经过滑动 t 检验 1995 年为突变点。

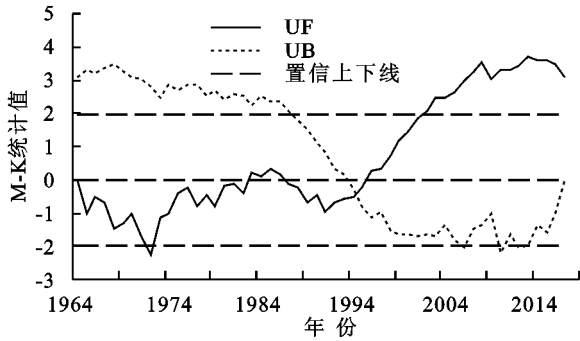


图 6 濂江河输沙量的 Mann-Kendall 统计量曲线

年径流量与降雨量的相关系数为 0.88,从年径流与年降雨双累积曲线(图 7)看,径流与降雨有着高度的一致,降雨量与年径流量变化趋势相关性很强,年径流量受到人类活动的影响较小。年径流与泥沙的相关系数为 0.33,仅根据相关系数的大小难以看出两要素之间的趋势线变化。从图 7 可以看出,在 1995 年之前年径流量、输沙量双累积曲线一直呈线性增加,1995 年之后,曲线明显向上倾斜由 0.973 6

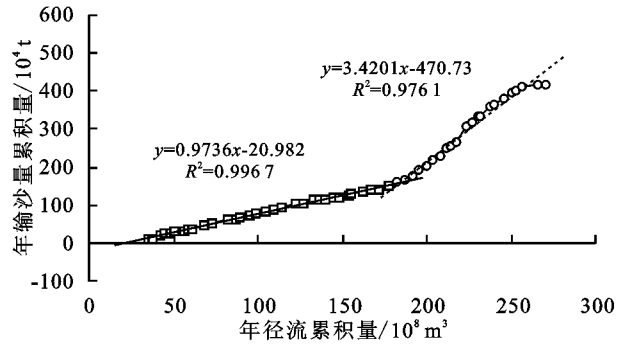
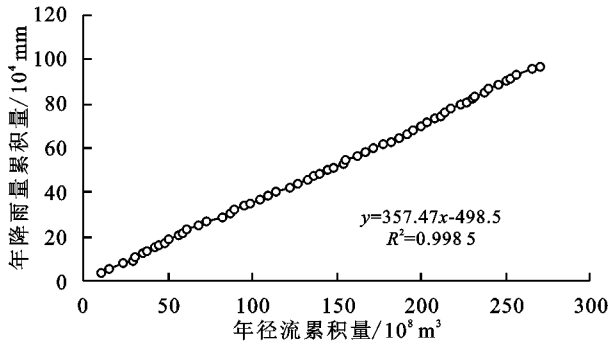


图 7 濂江河流域年径流量—降雨量、径流量—输沙量双累积曲线

3.2 流域景观格局演变分析

利用 Fragstats 软件对流域 7 期的土地利用数据进行景观水平和类型水平的景观格局分析,得到表 1 和图 8。

景观水平上,1980—2015 年,濂江河流域的斑块数(NP)呈现增加的趋势,斑块密度也呈现相同的趋势,由 0.75 增加到 0.84,说明流域内景观破碎度总体有增加的趋势,景观内部生境面积减少,景观连续性变差。而流域的 PSCV 值呈现明显的上升趋势,说明流域景观的斑块面积更分散,且斑块面积年际变化率增大。从景观斑块边缘指数上看,ED 值 1990—

变为 3.420 1,这表明 1995 年之后单位径流量输沙量急剧增大,1995 年以后流域径流呈现一定的减少趋势,流域泥沙呈现一定的增加趋势,径流量减少而输沙量增加,这表明人类活动的干扰有着极其密切的关系。

1995 年后,安远县大力推广种植柑橘,截至 2018 年全县有各类果园 9.7 万 hm^2 ,2008 年底全县共治理经果林面积 6 000 hm^2 [4],仍有大面积的果园属于粗放开发,果林地表覆盖度低,导致流域内输沙量持续增加。根据《江西省河湖大典》[17]统计,2001 年濂江河流域水土流失面积达到了 281 km^2 ,流域内 2 座中型水库蔡坊水库以及渔翁埠水库,分别于 1997 年、1999 年建成,此外还有 5 座小(1)型水库和 30 座小(2)型水库。2004 年之后,径流量有所降低,说明水库的修建产生了一定的拦截径流的作用,但是输沙量却并没有减小,仍然有增大的趋势,说明该区域仍然存在较为严重的水土流失现象,亟需治理。

1995 年呈现下降趋势外,其他区间均呈现增加趋势,说明景观边缘异质性变大。从景观形状指数上看,AWMSI 值有明显的上升,景观形状变得不规则,表明其受人类活动影响增强。SHDI 值从 1.24 上升到 1.32,说明流域内景观类型丰度增大,土地利用类型比较丰富。LPI 值呈现先增加后减少的态势,整体呈现增加的趋势,由 1980 年的 37.15 增加到 2015 年的 53.38,表明流域景观斑块的形状越来越复杂。DIVISION 值呈现先减少后增大的态势,整体呈现减少的趋势,处于中等偏上水平,表明流域景观优势斑块优势度、分割度和聚集度处于中等偏上。

表 1 濂江河流域 1980—2015 年景观格局指数分析

年份	NP/个	PD/ 100 hm^2	PSCV	ED/ ($\text{m} \cdot \text{hm}^{-2}$)	LPI	AWMSI	SHDI	DIVISION
1980	422	0.75	892.94	25.40	37.15	7.17	1.12	0.81
1990	447	0.80	900.30	27.04	36.75	7.49	1.13	0.82
1995	402	0.72	1177.43	26.72	58.69	9.89	1.10	0.65
2000	442	0.79	1227.93	27.00	58.36	9.80	1.13	0.66
2005	439	0.78	1170.67	27.43	55.36	9.67	1.31	0.69
2010	453	0.81	1147.01	27.55	53.40	8.91	1.31	0.71
2015	467	0.84	1163.60	28.14	53.38	9.02	1.32	0.71

从面积指数上看,1980—2015 年濂江河流域面积最大的斑块类型是有林地,占流域面积的 58% 以上,其次是耕地、疏林地以及灌木林,均占流域总面积 11% 左右,其他类型的用地面积较小,所占比例均在 1% 以下,林地总面积占比例为 87%,故林地是濂江河流域的景观基质。从 1980—2015 年的土地利用转移矩阵看,经果林、疏林地、有林地、草地以及城乡工矿用地发生了明显的面积流转,其中城乡工矿用地由 537.84 hm² 增加到了 787.68 hm²,面积增加了 45.45%,主要来源于安远县城和车头镇周边的耕地;有林地面积减少,主要是林地被砍伐开垦变为耕地以及草地;疏林地面积增加,主要来源于灌木林和有林地;灌木林面积减少,主要转换为有林地、疏林地以及经果林;经果林面积大量增大,由 1980 年的 6.21 hm² 增加到 2015 年的 4 934.52 hm²,是面积增大比例最大的土地利用类型,主要来源于耕地、有林地以及灌木林,这与流域内推广种植蜜桔和脐橙有关,与徐晗泽宇等^[18]研究一致。

从斑块密度指数上看,耕地的 *NP* 和 *PD* 值基本保持不变,但是 *PSCV* 值呈现下降的趋势,说明其景观破碎度增加,耕地主要是沿河分布在河漫滩和山谷间。有林地的 *NP*、*PD* 和 *PSCV* 值呈现逐年增大的趋势,说明有林地斑块之间发生了分裂,有林地总面积减少,斑块面积的年际变化增大。疏林地的 *NP*、*PD* 和 *PSCV* 值呈现先增大后减小再增大的趋势,但是总体呈现增大的趋势,说明其景观破碎度在逐年减少。灌木林的 *NP*、*PD* 和 *PSCV* 值呈现先减少后增大的趋势,*NP* 和 *PD* 整体保持不变,但是 *PSCV* 值呈现减少的态势,说明其景观破碎度在逐年增大。经果林的 *NP*、*PD* 和 *PSCV* 值保持逐年增大的趋势,说明其景观破碎度逐年增大,斑块面积的年际变化增大。草地的 *NP*、*PD* 和 *PSCV* 值呈现减少的趋势,说明草地的景观破碎度减少,草地面积减少。城乡建筑用地的 *NP* 和 *PD* 值呈现增加的趋势,2015 年流域内建筑用地呈现快速发展的趋势,主要表现为安远县城的发展。

从斑块边缘指数和形状指数上看,耕地的 *ED* 和 *AWMSI* 值均呈现减少的趋势,景观受人类活动的影响增强;有林地的 *ED* 和 *AWMSI* 值呈现出先增大后减小的趋势,整体增大,表明有林地的斑块几何形状越来越复杂;疏林地的 *ED* 和 *AWMSI* 值基本保持不变,疏林地的变化较小,基本不受人为干扰;灌木林 *ED* 和 *AWMSI* 值先减少后增大,整体减小,刚好和有林地相反;经果林的 *ED* 和 *AWMSI* 值呈现增加的趋势,受人类活动的影响明显;草地和城乡建设用地的 *ED* 和 *AWMSI* 值先减小后增大,整体呈现减小的趋势,表明近十年受人类活动干扰性增强。

3.3 流域景观格局演变与径流泥沙的相关关系

由表 2 可知,径流量与 *NP*、*PD* 的相关性不强,

与 *ED*、*AWMSI* 指数有一定的正相关性,随着 *PSCV*、*LPI*、*SHDI* 指数的增大而增加,说明景观斑块破碎化程度越高,斑块的形状越复杂,对径流产生的积极影响越显著;随 *DIVISION*、*CONTAG* 指数增大而减小,表明斑块结合度对侵蚀有显著的直接影响;随着景观斑块结合度和增大,径流量呈明显较少趋势。这与黄土高原等其他区域景观格局对水土流失影响的相关研究^[10]结果一致。

输沙量与 *NP*、*PD*、*ED*、*AWMSI*、*SHDI* 有着显著的负相关,斑块数目多、景观越破碎,对泥沙的阻滞具有积极显著的作用,与 *LPI*、*PSCV* 相关性不强,与 *CONTAG* 有着显著的正相关,这与黄土高原等研究^[19]刚好相反。1995 年以来,安远县大面积推广种植柑橘园,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。流域整体的土地利用转化主要是耕地、有林地的减少,城乡建设用地与经果林增加,相比其他植被类型,经果林地表覆盖少,林冠小,降水对地表的直接冲刷更严重,所以流域的输沙量有明显的增大。

由表 3 可知,耕地的 *CA* 和 *ED* 与径流呈负相关,与泥沙呈现正相关,流域内的耕地面积减少,主要是转换为经果林以及建筑用地,面积变小,持水力变小径流量变大,耕地变成建筑用地过程中,硬底化建设的增加反而在一定程度上减少原本耕地面积上的泥沙流失^[12]。

从林地的 4 种类型有林地、疏林地、灌木林以及经果林与径流泥沙的相关性看,各种类型存在很大的差异性。有林地的形状指数(*PSCV*、*AWMSI*)与径流呈正相关,*CA* 与泥沙呈现正相关,*NP*、*PD* 与泥沙呈现负相关,有林地的面积越大,单个斑块越复杂,流域内的径流泥沙越大,这和有林地的树种类型有关,有林地的主要树种类型为上世代的飞播造林湿地松^[20],有林地垂直发育较差,植被类型单一,林下流现象严重^[21];有林地斑块越多,密度越大,有利于阻滞径流和泥沙。疏林地的变化是所有林地中最小的,景观指数与径流泥沙的响应不明显。灌木林的 *CA*、*ED* 与径流呈现负相关,灌木林减少,主要是转换为经果林,经果林的持水能力弱,流域径流变大。经果林是所有林地中变化最剧烈的,所有的指数与径流均呈现正相关,且 *NP*、*PD*、*ED*、*LSI*、*AMWSI* 通过 0.05 水平检验,所有指数与泥沙呈现负相关性,且 *CA*、*PSCV*、*ED* 通过 0.05 水平检验,*NP*、*PD* 与 *LSI* 均通过 0.01 水平检验。所有林地的 *CA* 与泥沙呈现负相关,与径流呈现正相关,经果林主要来源于有林地、灌木林以及耕地,果林开发初期,对地表破坏较大,果林下灌木和草本的生长也是受控制,持水功能减弱,导致流域内径流增加;同时果林成熟后,树冠可消减雨水对地表的直接冲刷,同时果林修建水保措施,导致泥沙量的减少,表明目前经果林开发修建的水保措施调控泥沙效果

优于径流。草地占流域面积比例很小, *NP*、*PD* 与径流呈现负相关, 与泥沙的相关系数较弱。

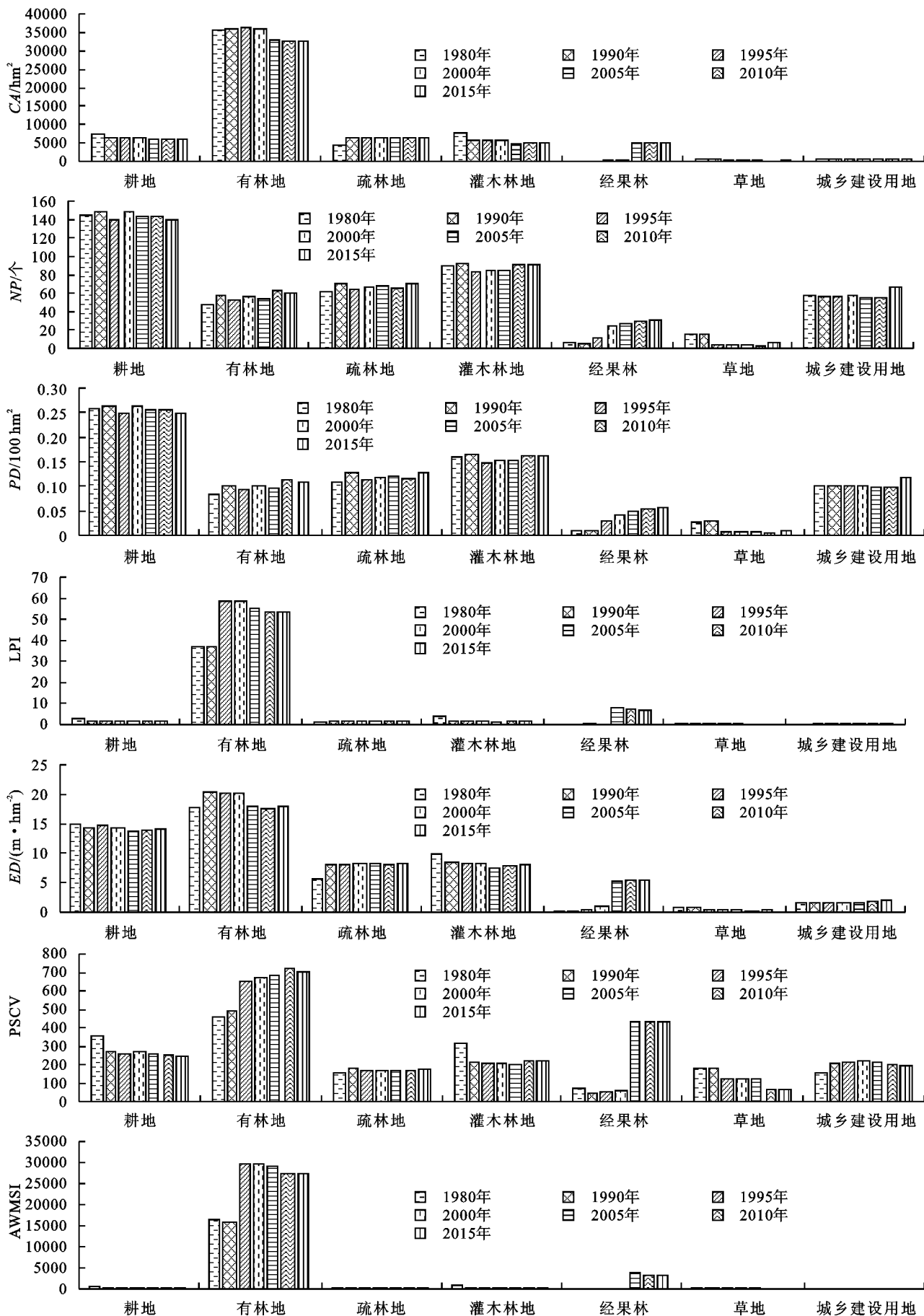


图 8 1970—2015 年流域内各景观类型水平景观指数变化

表 2 濂江河流域整体景观水平指数与径流泥沙的相关关系

参数	NP	PD	PSCV	ED	LPI	AWMSI	DIVISION	SHDI	CONTAG
3 a 滑动径流量	0.323	0.322	0.717	0.535	0.667	0.667	-0.629	0.722	-0.716
3 a 滑动泥沙量	-0.873*	-0.871*	-0.393	-0.755*	-0.268	-0.759*	0.191	-0.779*	-0.135

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。下同。

表 3 濂江河流域斑块水平与径流泥沙的相关关系

景观类型	指标	CA	NP	PD	PSCV	ED	LSI	AMWSI
耕地	径流	-0.717	-0.177	-0.174	-0.479	-0.820	-0.266	-0.514
	泥沙	0.721	0.155	-0.164	0.563	0.847	0.071	0.612
有林地	径流	-0.649	0.320	0.319	0.758*	-0.427	-0.230	0.723
	泥沙	0.717	-0.731	-0.732	-0.574	0.347	0.094	-0.322
疏林地	径流	0.307	0.139	0.138	0.114	0.427	0.504	0.261
	泥沙	-0.395	-0.567	-0.568	-0.485	-0.526	-0.611	-0.343
灌木林	径流	-0.703	-0.363	-0.360	-0.469	-0.709	-0.416	-0.500
	泥沙	0.680	-0.293	-0.297	0.481	0.665	0.243	0.576
经果林	径流	0.754	0.807*	0.807*	0.728	0.767*	0.821*	0.766*
	泥沙	-0.757*	-0.908**	-0.908**	-0.767*	-0.789*	-0.902**	-0.732
草地	径流	-0.600	-0.754	-0.754	-0.590	-0.697	-0.601	0.007
	泥沙	0.556	0.390	0.388	0.563	0.508	0.566	0.438
城乡建设用地	径流	0.362	-0.053	-0.053	0.423	0.234	0.050	0.513
	泥沙	-0.556	-0.187	-0.187	-0.344	-0.492	-0.382	-0.448

4 结论

(1)濂江河流域的径流量年内分布不均,主要集中在 4—7 月,年际呈现不显著的减少趋势,在 1973 年、2004 年发生突变;输沙量年内分布不均,主要集中在 3—8 月,年际呈现增大趋势,在 1995 年发生突变,1995 年后输沙量持续增大;流域多年平均月径流量与月输沙量具有极强的相关性(0.985),具有多水多沙、少水少沙的特点;1995 年后流域径流呈现一定的减少趋势,泥沙呈现一定的增加趋势,表明与人类活动的干扰有着极其密切的关系。安远县是柑橘种植的主要地区,1995 年已初具种植规模。

(2)从景观水平上看,流域内 NP、ED 变大,说明流域内景观破碎度增加,连续性变差;流域的 AWMSI、LPI 值明显上升,表明流域景观形状变得不规则,形状越来越复杂。从类型水平上看,流域内面积最大的斑块是有林地,其次是耕地、疏林地以及灌木林,发生明显变化的有经果林、有林地、灌木林以及城乡建设用地。大量的有林地、灌木林以及部分耕地转化为经果林,经果林的 ED 和 AWMSI 增加,受人类活动影响明显;耕地转化为城乡建设用地。

(3)从景观水平上看,径流与 ED、AWMSI 指数有一定的正相关性,随着 PSCV、LPI、SHDI 指数的增大而增加,输沙量与 NP、PD、ED、AWMSI、SHDI 有着显著的负相关,斑块数目多、景观越破碎,对泥沙的阻滞具有积极显著的作用。

(4)类型水平上,耕地的 CA、ED 与径流呈负相关,与泥沙呈现正相关;有林地的形状指数(PSCV、

AWMSI)与径流呈正相关,CA 与泥沙呈现正相关, NP、PD 与泥沙呈现负相关;灌木林的 CA、ED 与径流呈负相关;经果林的所有指数与径流均呈现正相关,与泥沙呈现负相关性,同时,草地的 NP、PD 与径流呈现负相关。

参考文献:

- [1] 刘斌,罗金华,常文哲,等.不同林草植被覆盖度的水土保持效益及适宜植被覆盖度[J].中国水土保持科学,2008,6(6):68-73.
- [2] 谢锦升,杨玉盛,谢明曙.亚热带花岗岩侵蚀红壤的生态退化与恢复技术[J].水土保持研究,2004,11(3):154-156.
- [3] 何圣嘉,谢锦升,杨智杰,等.南方红壤丘陵区马尾松林下水土流失现状、成因及防治[J].中国水土保持科学,2011,9(6):65-70.
- [4] 宋月君.赣南水土保持生态建设成果总结与探讨[J].水土保持应用技术,2015(4):20-21,26.
- [5] 傅伯杰,徐延达,吕一河.景观格局与水土流失的尺度特征与耦合方法[J].地球科学进展,2010,25(4):673-680.
- [6] Shi Z H, Ai L, Li X, et al. Partial least-squares regression for linking land-cover patterns to soil erosion and sediment yield in watersheds [J]. Journal of Hydrology, 2013, 498: 165-176.
- [7] 王朗,徐延达,傅伯杰,等.半干旱区景观格局与生态水文过程进展研究[J].地球科学进展,2009,24(11):1238-1246.
- [8] 张雪霞,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.
- [9] 程复.黄土丘陵沟壑区生态恢复北京下土地利用变化对合川径流泥沙影响研究[D].北京:北京林业大学,2011.

- [5] Saidi D. Importance and role of cation exchange capacity on the physicals properties of the cheliff saline soils (Algeria) [J]. *Procedia Engineering*, 2012, 33: 435-449.
- [6] 王文艳,张丽萍,刘俏. 黄土高原小流域土壤阳离子交换量分布特征及影响因子[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(5):123-127.
- [7] 黄尚书,叶川,钟义军,等. 不同土地利用方式对红壤坡地土壤阳离子交换量及交换性盐基离子的影响[J]. *土壤与作物*, 2016, 5(2):72-77.
- [8] Khaledian Y, Brevik E C, Pereira P, et al. Modeling soil cation exchange capacity in multiple countries[J]. *Catena*, 2017, 158: 194-200.
- [9] Montero E. Rényi dimensions analysis of soil particle-size distributions [J]. *Ecological Modelling*, 2005, 182: 305-315.
- [10] 代豫杰,郭建英,董智,等. 不同沙生灌木下土壤颗粒及重金属空间分布特征[J]. *环境科学*, 2017, 38(11): 4809-4818.
- [11] 姜林,耿增超,李珊珊,等. 祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布[J]. *生态学报*, 2012, 32(11):3368-3377.
- [12] Li Y, Li M, Horton R. Single and joint multifractal analysis of soil particle size distributions [J]. *Pedosphere*, 2011, 21: 75-83.
- [13] 张瑶,邓小华,杨丽丽,等. 不同改良剂对酸性土壤的修复效应[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(5):330-334.
- [14] 李晓丽,苏雅,齐晓华,等. 高原丘陵区砒砂岩土壤特性的实验分析研究[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2011, 32(1):315-318.
- [15] Kassa H, Dondeyne S, Poesen J, et al. Impact of deforestation on soil fertility, soil carbon and nitrogen stocks; The case of the Gacheb catchment in the White Nile Basin, Ethiopia [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2017, 247: 273-282.
- [16] 董莉丽,马孝燕,胡丹,等. 吴起县退耕还林样地土壤粒径分布的单一和多重分形特征[J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(7):111-115.
- [17] 张玉革,梁文举,姜勇. 不同利用方式下潮棕壤交换性钙镁的剖面分布[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(4):813-818.
- [18] 董莉丽,郑粉莉. 纸坊沟流域不同土地利用类型下的土壤粒经多重分形研究[J]. *土壤*, 2010, 42(2):302-308.
- [19] 张莉,吴斌,丁国栋,等. 毛乌素沙地沙柳与柠条根系分布特征对比[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(3):158-161.
- [20] Yükses T, Yükses F. The effects of restoration on soil properties in degraded land in the semi-arid region of Turkey [J]. *Catena*, 2011, 84(1/2): 47-53.
- [21] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [22] 章明奎,朱祖祥. 粉粒对土壤阳离子交换量的影响[J]. *土壤肥料*, 1993(4):41-43.
- [23] 孙海东,刘备,吴炳孙,等. 橡胶树人工林地土壤酸度特征及酸化原因分析[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(2): 49-54.

(上接第 42 页)

- [10] 刘晓君,李占斌,李鹏. 基于土地利用/覆盖变化的流域景观格局与水沙响应关系研究[J]. *生态学报*, 2016, 36(18):5691-5700.
- [11] 李莹,黄岁樑. 滦河流域景观格局变化对水沙过程的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(7):2463-2475.
- [12] 徐炫清,陈裕婵,李青圃,等. 五华河流域景观格局演变对径流泥沙的研究[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(1): 231-236, 242.
- [13] 张少伟,杨勤科,任宗萍,等. 江西省赣南地区土地利用动态分析[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(2):53-56.
- [14] 李桂静,崔明,周金星,等. 南方红壤区林下土壤侵蚀控制措施水土保持效益研究[J]. *水土保持学报*, 2014, 28(5):1-5.
- [15] Liu J Y, Liu M L, Zhang D F, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995—2000 [J]. *Science in China*, 2003, 46(4):373-384.
- [16] Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2):195-210.
- [17] 江西省水利厅. 江西河湖大典[M]. 武汉:长江出版社, 2010.
- [18] 徐晗泽宇,刘冲,王军邦,等. Google Earth Engine 平台支持下的赣南柑橘果园遥感提取研究[J]. *地球科学信息学报*, 2018, 20(3):396-404.
- [19] 王金花,李占斌,张荣刚,等. 水蚀风蚀交错区流域景观格局变化及水沙响应关系[J]. *中国水土保持科学*, 2016, 14(3):68-75.
- [20] 王璋珊. 江西赣南地区飞播造林成效调查[J]. *民航经济与技术*, 1995(7):49-50.
- [21] 徐义保,查轩,黄少燕. 南方红壤丘陵区马尾松林地水土流失研究进展[J]. *亚热带水土保持*, 2011, 23(4):40-43.