

# 皇甫川流域水沙变化对景观格局的响应

刘蓓蕾<sup>1</sup>, 李鹏<sup>1,2</sup>, 杨媛媛<sup>1</sup>, 任宗萍<sup>1,2</sup>, 龙韶博<sup>3</sup>

(1.西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利工程国家重点实验室, 西安 710048; 2.西安理工大学旱区生态水文与灾害防治国家林业局重点实验室, 西安 710048; 3.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**黄河泥沙锐减的背景下,研究黄土高原地区景观格局,旨在探讨其对径流泥沙的影响。采用数理统计方法分析流域的水沙时间变化特征;基于 ArcGIS 10.2 和 FRAGSTATS 4.2 分析流域土地利用和景观格局特征,采用冗余分析法等分析流域水沙对景观格局的响应。结果表明:皇甫川流域水沙年内分配不均,年际呈下降趋势,径流量和输沙量的突变点分别为 1984 年和 1988 年;主要土地利用类型为草地(约占 65%),草地变化最大,水域和建设用地变化不明显;流域景观格局指数略有变化,景观破碎度增加,形状复杂,异质性上升;景观格局指数与水沙相关性较强。改变流域土地配置,景观格局必然相应发生变化。因此,可以通过间接改变流域土地利用,调节流域水沙变化特征。

**关键词:**水沙变化;土地利用;景观格局指数

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)05-0102-06

## Response of Variation of Runoff and Sediment to Landscape Pattern in Huangfuchuan Basin

LIU Beilei<sup>1</sup>, LI Peng<sup>1,2</sup>, YANG Yuanyuan<sup>1</sup>, REN Zongping<sup>1,2</sup>, LONG Shaobo<sup>3</sup>

(1.State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2.Key Laboratory of on Ecological Hydrology and Disaster Prevention in Arid Regions, National Forestry Administration, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 3.Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In order to study the landscape pattern of Loess Plateau under the background of sediment reduction in the Yellow River, this paper aims to explore the influence of landscape pattern on runoff and sediment. Unitary linear regression method and moving average method were used to study the characteristics of runoff and sediment in the basin. Based on ArcGIS 10.2 software and FRAGSTATS 4.2 software, we analyzed the characteristics of watershed land use and landscape pattern. Redundancy Analysis and other method were used to analyze the response of runoff and sediment in watershed to landscape pattern. The results show that: the distributions of rainfall, runoff and sediment transport in Huang-Fu-Chuan Basin were uneven within a year, and there was a downward trend from year to year, and the abrupt transition points of runoff and sediment transport occurred in 1984 and 1988, respectively; the main type of land use in Huang-Fu-Chuan Basin was grassland which accounted for about 65% of the total area of the basin, and the grassland changed the most, while the changes of water area and construction land were not obvious; the landscape pattern index of the basin changed slightly, the landscape fragmentation increased, the shape was complicated, and the heterogeneity increased; the correlation between landscape pattern index and water and sand was strong. If the land allocation of the basin is changed, the landscape pattern is bound to change accordingly. Therefore, the change trend of runoff and sediment in the basin can be achieved by indirectly changing land allocation.

**Keywords:** runoff and sediment variation; land use; landscape index

收稿日期:2020-08-11

修回日期:2020-11-04

资助项目:国家自然科学基金(51779204);陕西省创新人才推进计划项目(2018TD-037)

第一作者:刘蓓蕾(1994—),女,陕西铜川人,硕士研究生,研究方向为水土保持。E-mail:liubeilei94@163.com

通信作者:李鹏(1974—),男,山东烟台人,教授,博士生导师,主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail:lipeng74@163.com

黄土高原是我国土壤侵蚀最为严重的区域之一,自上个世纪50年代以来,在该地区开展了大量的水土流失治理工作。据黄河潼关站监测数据统计显示,黄河年平均输沙量由1970年前的16亿t锐减到2000—2014年的2.7亿t<sup>[1]</sup>。气候变化、地形地貌、人类活动等都可能造成黄河泥沙的锐减的原因,因此黄河水沙变化的归因成为了研究的热点。土地利用/覆盖变化(LUCC)是地形地貌变化的重要表征,也是流域水量平衡及水文循环过程发生变化的关键因素之一<sup>[2-4]</sup>,研究土地利用变化,对认识流域水沙变化特征和机制以及水土资源的高效利用具有重要意义。景观指数能够从景观生态学的角度有效的量化描述土地利用的结构组成和空间配置等特征<sup>[5]</sup>。因此,本文选择景观指数表征土地利用/覆被格局的变化,探讨其对流域水沙变化的影响规律。目前,在黄土高原,关于景观格局的研究已经有一定进展,王晓燕等人分析了黄土高原的景观多样性<sup>[6]</sup>;王教育等研究了黄土高原沟壑区的景观的空间格局特征<sup>[7]</sup>;刘琳等研究了黄土高原地区的景观格局演变及生态系统服务功能<sup>[8]</sup>。本研究从景观格局角度出发,初步研究流域水沙变化对其变化的响应。

皇甫川是黄河的一级支流,位于黄土高原与鄂尔多斯高原的边缘连接地带,属于风沙区和丘I区的过渡区。为研究流域土地利用覆被变化因子对皇甫川水沙变化影响的贡献程度,本文对皇甫川流域的土地利用变化及景观格局指数进行分析,建立其与径流量、输沙量的关系,分析皇甫川的水沙变化特征和原因,以期对多沙粗沙区水土流失的治理和生态环境的保护,以及为黄土高原地区水沙变化问题提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

皇甫川流域属干旱与半干旱气候,受季风影响,年均降水量350~450mm,中上游地区年平均气温6.2~8.7℃,温差较大,平均风速1.9~3.4m/s。皇甫川流域按地表物质分布和侵蚀差异,可将流域分为黄土丘陵沟壑区、沙化黄土丘陵沟壑区、砒砂岩丘陵沟壑区3个类型区。

皇甫川属多沙粗沙河流,全长1251km,流域面积3246km<sup>2</sup>,多年平均输沙量为6120万t,输沙模数平均为1.91万t/(km<sup>2</sup>·a),其中50%以上地区输沙模数在2.1万t/(km<sup>2</sup>·a)以上,局部地区个别年份高达3~5万t/(km<sup>2</sup>·a)以上。大于0.05mm的粗泥沙占总沙量的61.3%,粗泥沙模数为1.2万t/(km<sup>2</sup>·a),是黄河中游地区的剧烈侵蚀中心和粗泥沙主要来源地之一<sup>[9]</sup>。

### 1.2 数据来源

土地利用数据来自于地理国情监测云平台,基于Landsat 30m遥感影像获取,经过影像融合、几何校正、图像增强与拼接等处理后,通过人机交互目视解译的方法,按照国家土地利用分类方法,结合刘纪远等在建设“中国20世纪LUCC时空平台”建立的LUCC分类系统<sup>[10]</sup>,将土地利用类型划分为6个一级类和25个二级类。以流域1990—2010年5期的土地利用为基础资料,分4段(1990—1995年、1995—2000年、2000—2005年、2005—2010年),通过ArcGIS分析流域土地利用时空变化和内部动态转移情况。

年降水数据、径流数据来源于流域把口站皇甫水文站,输沙数据来源于:《中华人民共和国水文年鉴》,及黄河流域水文资料,时间为1956—2015年。

### 1.3 研究方法

采用皇甫水文站提供的1956—2015年降雨量、径流量、输沙量,利用变差系数<sup>[11]</sup>(Cv)分析径流泥沙的年内变化特征;利用一元线性回归法<sup>[12]</sup>、滑动平均法<sup>[13]</sup>描述径流的年际变化趋势;利用滑动t检验法<sup>[14-15]</sup>和Petitt法<sup>[16-17]</sup>检测径流泥沙的年际突变点。

在ArcGIS 10.2平台上,对流域5期土地利用(1990—2010年)数据进行重分类,分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用土地六大种类。同一流域,不同时期,土地转移情况根据自然变化、人为干预的变化而产生变化<sup>[18]</sup>。借助软件中Spatial Analyst工具合并相邻两期土地利用类型分布图,在合并后的地图中,得到不同土地利用类型面积的转移变化量,即某类土地利用类型的转入或转出面积,得知区域内不同利用类型用地面积间相互转移的大小和过程,为之后研究转移因素和规律做基础。

利用FRAGSTATS 4.2计算景观指数。研究区特征可划分为斑块、类型、景观3个尺度,通过各类尺度的景观指数对景观格局进行准确反映,同时更加准确地表征景观在空间上的配置和相关属性;FRAGSTATS能够计算不同尺度的景观指数,所以选择合适、适量的景观指数对景观配置分析的合理性尤为重要;其中部分指标间可以相互转化,且具有极显著相关性,因此在选择指标前,要对大量的指标进行筛选选择能够精确量化研究区景观特征的指标进行研究分析<sup>[19]</sup>;本文在景观尺度上选择9种能够表征流域景观格局特征的指数进行计算和分析。部分指数的计算方法与生态学意义参见文献<sup>[20]</sup>和表1。

通过高度浓缩景观格局信息,结合流域的径流泥沙资料,综合描述该流域的景观空间配置与水沙关

系,利用国际标准通用软件 CANOCO 5.0 采用线性模型对各指标进行冗余分析,分析年径流量、年输沙量等径流泥沙因子与景观指数之间的相关关系,作为多元线性回归的拓展,RDA 能进行多变量直接梯度

分析,即分析两个变量集之间的线性关系,并将两个变量集反映在同一直角坐标系中,直观反映两变量集的相关关系<sup>[21-22]</sup>,通过该相关关系可以揭示景观格局与水沙的响应。

表 1 景观格局指数计算公式及其生态学意义

景观类型水平指标	计算公式	物理意义	生态学含义
斑块个数	$NP=N$	$N$ 为整个景观的斑块个数(个)	景观中斑块的个数
斑块密度	$PD=\frac{1}{A}\sum_{j=1}^M N_j$	$M$ 为研究范围内某空间分辨率上景观要素类型总数; $A$ 为研究范围内景观总面积(个/ $\text{km}^2$ )	景观被分割的破碎化程度,空间异质性程度,在一定程度上反映人为对景观的干扰程度
最大斑块指数	$LPI=\frac{\max(a_1, a_2, \dots, a_n)}{A}\times 100\%$	$a_i$ 为斑块 $i$ 的面积; $A$ 为景观总面积(%)	有助于确定景观的模式或优势类型等,其值得大小决定着景观中优势种、内部种的丰度等生态特征,其值的变化可以改变干扰的强度和频度率,反映人类活动的方向和强弱
斑块结合度	$COHESION=(1-\frac{\sum_{j=1}^m P_{ij}}{\sum_{j=1}^m P_{ij}\sqrt{a_{ij}}})(1-\frac{1}{\sqrt{A}})\times 100\%$	$P_{ij}$ 为 $ij$ 斑块周长; $a_{ij}$ 为 $ij$ 斑块面积; $A$ 为景观总面积(%)	某一种斑块类型和周围相邻斑块类型的空间连接程度
香浓多样性指数	$SHDI=-\sum_{i=1}^m [P_i \ln(P_i)]$	$P$ 为斑块类型所占景观总面积的比例; $i$ 为斑块个数	景观中各类斑块的复杂性和变异性(即景观异质性),强调稀有斑块类型对信息的贡献
聚集度	$AI=\left[\frac{g_{ii}}{\max_j g_{ij}}\right]\times 100\%$	$i$ 种类型斑块的相似邻接斑块数量	描述该种类型斑块的聚合情况,指数越大,该类型斑块聚合程度越高

## 2 结果与分析

### 2.1 流域水沙特征

皇甫川流域受季风影响,降水量年内分布不均,自 1 月起降水逐渐增多,在每年 7—8 月达到最大值,随后逐渐减少,到 12 月降至最低。径流量在 7—9 月变化明显,径流从每年 7 月进入汛期,月径流量较前几月有明显增

加,8 月达到最大,9 月径流量降幅明显,其中 8 月是每年径流量最大的月份,7—9 月径流量占全年的 77.89%,年内径流量变异系数( $C_v$ )为 1.49,表明流域年内径流总体变化程度较大,年内分配极不均匀。皇甫川河流输沙量主要集中在 6—9 月,与径流量呈极显著正相关,相关系数为 0.951。年内输沙量  $C_v$  值为 1.96,表明流域年内输沙变异程度较大(图 1)。

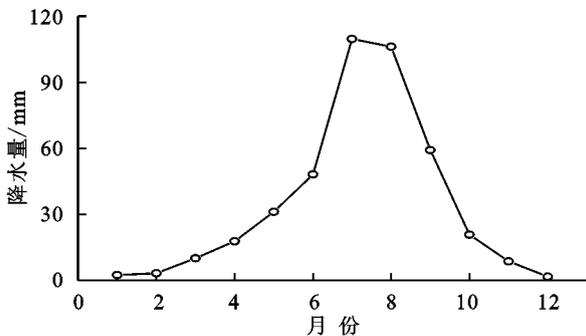
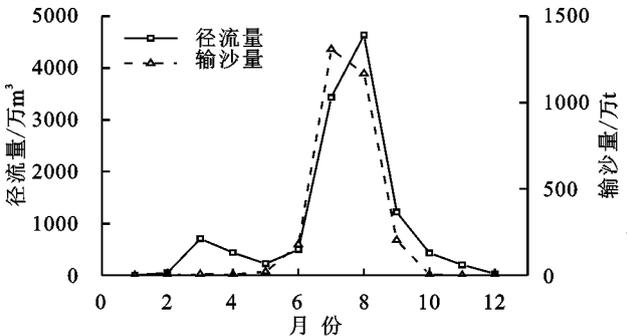


图 1 皇甫川流域水沙年内变化趋势

流域降水、径流、输沙年际变化见图 2。多年平均降水量为 337.4 mm,总体呈减少趋势。多年平均径流量为 1.48 亿  $\text{m}^3$ ,呈显著下降趋势,最大径流量为 1954 年 5.88 亿  $\text{m}^3$ ,而在 2010 年 11 月至 2011 年 12 月基流出现断流,年际差异较大。多年平均输沙量为 0.32 亿 t,呈显著下降趋势,最大输沙量为 1959 年的 1.63 亿 t。输沙量阶段划分较为明显,由图 2 可见,1956—1989 年属于多沙阶段,1990—2015 属于少沙阶段。皇甫



川流域降水、径流、输沙变化幅度基本一致(图 3),年降水量与年径流量变化呈极显著线性相关,Pearson 相关系数为 0.718;流域 1956—2015 年输沙量最大时径流量也属此年间较大值;当输沙量最小时,径流量也属 60 a 间最小值,年径流量与年输沙量变化呈极显著线性相关,pearson 相关系数为 0.883。

进一步分析皇甫川流域水沙变化突变特征(表 2),利用滑动 t 检验法,设置步长为 3 时,在 0.05 水

平上,检测到超出置信区间范围的点有多个,这些时期水沙可能发生了突变,也可能是由于方法问题造成的误差。因此再利用 Pettitt 法来进行检验,通过对比分析,最终确定 1984 年、1988 年分别为径流量和输沙量的突变点,这与学者魏艳红等<sup>[23]</sup>的研究较一致,说明该流域水沙变化拐点在 20 世纪 80 年代。

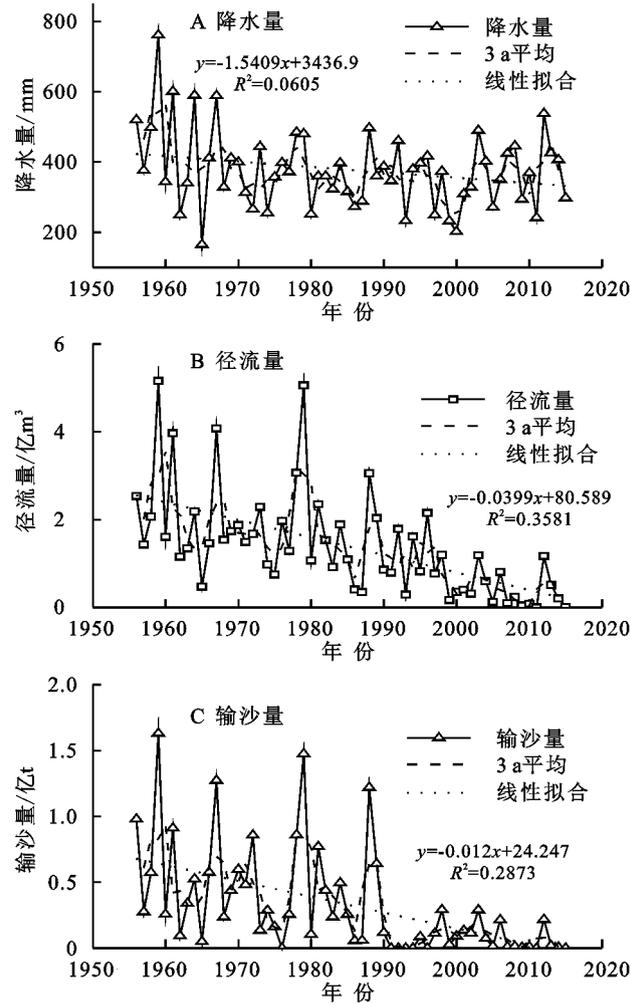


图 2 皇甫川流域水沙年际变化趋势

表 2 皇甫川流域水沙变化突变点检测

显著性水平	径流量突变点		输沙量突变点	
	滑动 t 检验	Pettitt 检验	滑动 t 检验	Pettitt 检验
0.01	1979 年、1984 年	1984 年	1979 年、1988 年	1988 年
0.05	1965 年、1988 年、1996 年、2010 年		1976 年、1981 年、1992 年、1998 年	

表 3 皇甫川流域土地利用类型统计

年代	耕地		林地		草地		水域		建设用地		未利用地	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
1990	703.94	21.80	146.50	4.54	2143.06	66.38	62.67	1.94	26.20	0.81	146.11	4.53
1995	693.41	21.46	144.64	4.48	2164.50	66.98	66.76	2.07	26.29	0.81	135.85	4.20
2000	682.94	21.13	149.17	4.62	2136.10	66.10	67.83	2.10	26.34	0.82	169.08	5.23
2005	682.15	21.11	174.94	5.41	2104.16	65.11	69.89	2.16	28.47	0.88	171.85	5.32
2010	676.20	20.94	177.57	5.50	2141.39	66.33	70.11	2.17	33.77	1.05	129.45	4.01

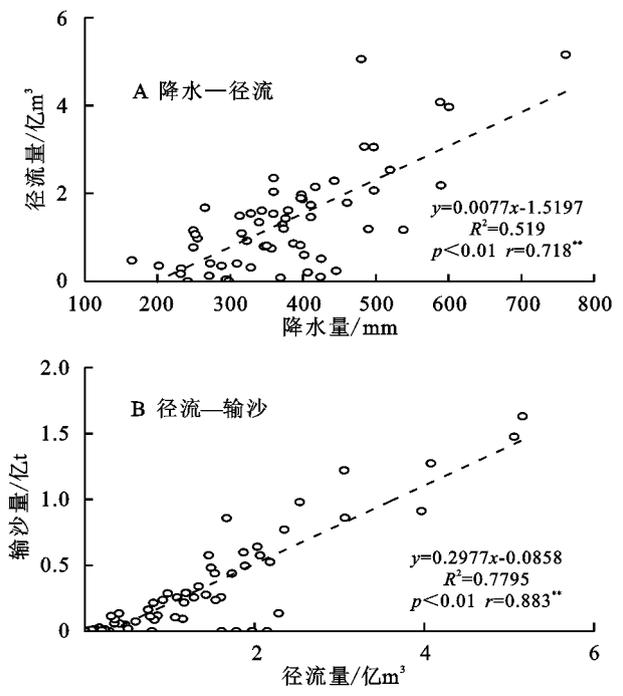


图 3 皇甫川流域水沙相关关系

## 2.2 土地利用和景观格局演变

五期土地利用类型均以草地为主,面积占比达到流域总面积的 65%左右;耕地面积占比次之,约为 20%;林地和未利用土地面积所占比例很小,在 5%左右;水域和建设用地面积占比几乎可忽略不计。由表 3 可见,流域耕地面积在 2005—2010 年显著减少,林地、草地面积在此期间显著增加,建设用地面积也在 2000 年后有所增加;这种变化与长期的水土保持工作和城市化的不断进展之间具有重要的关系。

由表 4 可看出,皇甫川流域 1990—2010 年各类土地利用面积转移较明显,流域主要土地利用变化是耕地向林地和草地的转移,以及未利用地向草地的转移;其中耕地向草地、林地的转移面积分别占到耕地总转移面积的 48.97%和 24.04%,未利用地向草地的转移面积占到未利用地总转移面积的 94.76%。

表 4 1990—2010 年皇甫川流域土地利用类型转移矩阵

km<sup>2</sup>

类型	2010 年					
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1990 年						
耕地	663.00	9.84	20.05	5.98	1.41	3.66
林地	0.05	144.26	1.17	0	1.03	0
草地	12.89	22.50	2075.45	2.35	3.70	26.18
水域	0.19	0.04	0.62	61.77	0	0.05
建设用地	0	0	0	0	26.1999	0
未利用地	0.0729	0.9342	44.1081	0.009	1.4211	99.5652

利用 FRAGSTATS 4.2 软件对流域多期土地利用数据进行景观水平和类型水平的景观格局运算,得到的景观指数计算结果见表 5。

景观水平上,1990—2010 年,皇甫川流域的斑块数量(NP)基本呈增加趋势,斑块密度指数(PD)与 NP 值变化趋势一致,说明流域中景观破碎度逐渐增加,景观中大斑块有分裂趋势,连续性变差。

从景观形状指数上看,大型斑块面积(LPI)基本稳定,形状指数(LSI)呈现波动缓慢上升趋势,由 1990 年的 49.44 增加到 2010 年的 52.22,香农多样性

指数(SHDI)基本稳定,表明流域景观斑块的形状越来越复杂但变化程度不明显。从破碎程度上看,面积分维数(PAFRAC)基本稳定,斑块凝聚度指数(COHESION)基本稳定,景观分裂度指数(DIVISION)基本稳定,这三者趋势相似且处于中等偏上水平,蔓延度指数(CONTAG)呈波动缓慢下降趋势,表明景观具有多种要素的密集格局,景观的破碎化程度较高,流域景观优势斑块优势度、分割度和聚集度处于中等偏上。皇甫川流域景观总体结构未发生重大变化,景观异质性上升。

表 5 流域景观指数变化特征

时期	NP/个	PD/ (个·hm <sup>-2</sup> )	LPI/%	LSI	PAFRAC	CONTAG/%	COHESION/%	DIVISIO	SHDI
1990	2147	0.67	30.95	49.44	1.41	65.64	99.75	0.88	1.00
1995	2117	0.66	48.83	48.88	1.41	65.97	99.84	0.75	0.99
2000	2275	0.70	30.67	51.39	1.42	64.82	99.76	0.87	1.02
2005	2386	0.74	29.98	52.70	1.42	63.85	99.74	0.88	1.05
2010	2366	0.73	32.03	52.22	1.42	64.72	99.75	0.87	1.02

### 2.3 景观与水沙响应关系

皇甫川流域 1990—2010 年 5 期的景观指数与径流量、输沙量与间的冗余度分析见图 4。景观格局指数用红色箭头表示,箭头连线越长对模型贡献率越大,反之,则越小;箭头与排序轴的夹角表示相关性的大小,夹角越小,相关性越大;景观格局指数箭头连线在径流量、输沙量箭头连线上的投影越长,则对水沙变化的影响越大。

由图 4 可知,NP,PD,LSI,PAFRAC 与径流呈极显著负相关,说明景观斑块数量越多,斑块破碎化程度越高,斑块的形状越复杂,流域径流的减幅越大。CONTAG 与径流呈显著正相关,表明斑块蔓延程度对径流有显著的直接影 响,随着景观斑块的结合蔓延,径流量减少趋势变弱。PD,NP,LSI 与输沙呈显著负相关,说明斑块数目越多、景观越破碎,对泥沙的阻滞具有积极显著的作用。CONTAG 与输沙呈显著正相关,表明景观斑块越联通,流域的输沙量减幅越小。其余指数中,COHESION 对水沙变化表现为正相关,SHDI 对水沙变化表现为负相关。皇甫川流域的几种景

观格局指数与径流量、泥沙量均呈明显相关关系。

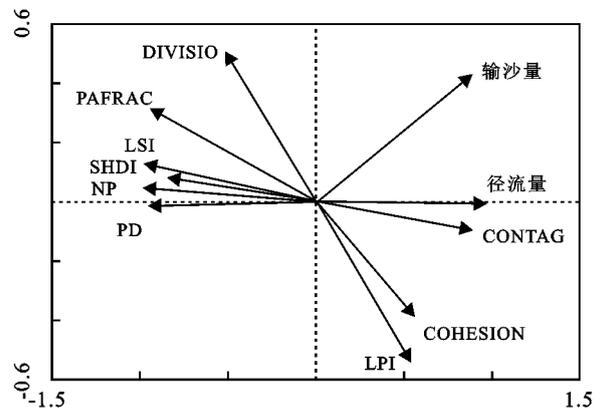


图 4 流域水沙变化与景观格局指数的冗余度分析(RDA)

### 2.4 讨论

影响皇甫川流域水沙变化的原因是复杂的、多因素的,其中气候变化与下垫面环境的变化是尤为重要的两个因素。降水是影响流域水文循环的重要因素,同时也是流域发生土壤侵蚀的重要动力之一,降雨的 年际波动与流域水沙变化具有密切地关系。与此同时,皇甫川作为多沙粗沙区的重点治理流域,域内严格实行退耕还

林政策以及布设各类水土保持工程措施,在各项措施共同作用下土地覆盖及景观格局发生了剧烈的变化,这也是造成该流域水沙变化的重要原因,本研究利用景观格局指数表征下垫面环境的变化,初步研究了皇甫川流域水沙变化对流域景观格局的响应。

皇甫川流域主要的土地利用类型为草地,主要的土地利用转移类型也是耕地向林地和草地的转移,以及未利用地向草地的转移,土地利用和景观格局指数的变化主要是由于国家对西部生态恢复的重视与水土保持工程的逐步深化开展和实施,和 1999 年国家在西部地区对退耕还林(草)政策进行试点,从保护和改善生态环境出发,将易造成水土流失的坡耕地有计划,有步骤地停止耕种,按照适地适树的原则,因地制宜地植树造林,恢复森林植被<sup>[24]</sup>。在皇甫川流域的这二十年间,主要实施退耕还林政策时先稳定农业生产保持耕地面积减幅缓慢而大量的开发荒地,把未利用土地面积进行改变,选择生长周期短的草进行初期恢复,所以土地转移中耕地和未利用土地转移量比较可观。除耕地和未利用地向草地转移外,流域内其他土地利用面积变化相对不大,而景观格局指数有明显变化,尤其是景观斑块的形状越来越复杂,景观异质性也有所提高。究其原因,是土地利用转移矩阵只是直观表示土地数量及类型的转换,但是景观指数可以从内部结构反映流域土地利用的变化,在土地利用某一类型面积没变化的情况下,内部景观的分布位置有所调整所引起的。

皇甫川流域径流输沙量的变化是气候因素以及各种人类活动因素共同作用的结果,大规模的水土保持措施,如退耕还林还草,表征在耕地面积的减少和林草地面积的增加,可以很好的用土地利用变化来解释。景观格局指数从各土地利用类型斑块内部结构反映了斑块的面积、密度、邻近度、多样性和聚散性等。因此,本文着重研究土地利用和景观格局变化对流域水沙变化的影响,发现皇甫川流域由于人类活动对流域土地利用类型的改变,景观指数保持高聚集,向着多类型、破碎化的方向发展,土地利用越丰富,破碎化程度越高,但优势斑块类型内部连性较好,则越对水沙减少产生积极显著的影响。说明改变流域土地配置,景观格局必然相应发生变化,因此想要改变流域水沙趋势,可以通过间接改变土地配置实现。

### 3 结论

(1) 皇甫川流域降雨、径流、输沙量年内分配不均,变异较大;多年平均降雨量、径流量及输沙量分别为 337.4 mm,1.48 亿 m<sup>3</sup>,0.32 亿 t,年际变化趋势和

幅度均基本一致,呈下降趋势;径流量和输沙量的突变点分别为 1984 年和 1988 年。

(2) 皇甫川流域主要土地利用类型为草地,占流域总面积 65%左右,并且 1990—2010 年皇甫川流域变化最大的土地利用类型依然是草地。林地和耕地利用类型在数量和空间上也有较大变化;而水域和建设用地变化不是很明显。流域地类变化主要的原因是国家在西部进行的退耕还林、还草政策的实施,以及为稳定农业生产力而对未利用土地的进行的开荒。

(3) 皇甫川流域 LPI,SHDI,PAFRAC,COHESION,DIVISION 基本稳定,景观总体结构未发生重大变化。随着时间的增加,受水土保持措施和后期退耕还林政策影响,NP 和 PD 有所上升,LSI 呈波动缓慢上升趋势,CONTAG 有所下降,流域内景观破碎度逐渐增加,景观形状越来越复杂但变化程度不明显,景观异质性上升。

(4) 皇甫川流域的 NP,PD,LSI,PAFRAC,CONTAG 与径流量、输沙量相关性强,土地利用和景观格局对流域水沙变化影响较大。

#### 参考文献:

- [1] 魏艳红,焦菊英,张世杰,黄土高原典型支流淤地坝拦沙对输沙量减少的贡献[J].中国水土保持科学,2017,15(5):16-22.
- [2] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆盖变化的国际研究动向[J].地理学报,1996,51(6):553-558.
- [3] Wang S, Fu B J, He C S, et al. A comparative analysis of forest cover and catchment water yield relationships in northern China[J]. Forest Ecology and Management, 2011,262(7):1189-1198.
- [4] 韩丽.流域土地利用变化及水文效应研究[D].南京:淮海大学,2007.
- [5] 周秋文,苏维词,陈书卿.基于景观指数和马尔科夫模型的铜梁县土地利用分析[J].长江流域资源与环境,2010,19(7):770-775.
- [6] 王晓燕,徐志高,杨明义,等.黄土高原小流域景观多样性动态分析[J].应用生态学报,2004,15(2):273-277.
- [7] 王教育,王成吉.黄土高原沟壑区土地景观空间格局遥感分析[J].干旱环境监测,1997,11(4):203-207.
- [8] 刘琳,刘雪华.黄土高原 1990—2000 年的景观格局演变及生态系统服务功能分析[J].干旱区资源与环境,2011,25(5):8-13.
- [9] 张平仓,刘玉民,张仲子.皇甫川流域侵蚀产沙特征及成因分析[J].水土保持通报,1992,12(2):16-24.
- [10] 刘纪远.2010—2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J].地理学报,2018,73(5):789-802.