

黄土地区小流域植被覆盖和降水对侵蚀产沙过程的影响

余新晓^{1,2}, 张学霞^{1,2}, 李建牢³, 张满良³, 谢媛媛¹

(1. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083;

3. 黄河水利委员会天水水土保持科学试验站, 甘肃天水 741000)

摘要:以1982~2000年吕二沟地区的水文气象观测资料与遥感资料为数据源,进行流域产沙强度与径流指标、降水指标、植被覆盖指标之间的相关与多元回归分析,结果表明,流域产沙强度随径流指标、降雨指标的增加而增大,随植被覆盖指标的增加而减小。为了区分人为因素与自然因素对侵蚀产沙的影响,采用对数据进行标准化处理之后再进行多元回归分析的方法,来确定相对贡献率。结果表明,植被盖度和降水变化对吕二沟流域土壤侵蚀量变化的贡献率分别为45.7%和54.3%,可见土壤侵蚀量受降水的影响要略大于受植被覆盖的影响。

关键词:植被覆盖; 降水; 产沙强度

文章编号:1000-0933(2006)01-0001-08 **中图分类号:**P333.4, P463, Q14, S157, X17 **文献标识码:**A

Effects of vegetation cover and precipitation on the process of sediment produced by erosion in a small drainage basin of loess region

YU Xin-Xiao^{1,2}, ZHANG Xue-Xia^{1,2}, LI Jian-Lao³, ZHANG Man-Liang³, XIE Yuan-Yuan¹ (1. Key Laboratory of Soil & Water Conservation and Desert Prevention, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Scientific Trial Station of Soil & Water Conservation in Tianshui City, Water Conservancy Committee of Yellow River, Tianshui City, 741000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 1~8.

Abstract: With growing concerns on changes of the living environment and ecological environment, more and more scholars have focused their researches on understanding how vegetation covers and atmospheric conditions respond to soil erosion in drainage basins. And former studies showed that both the natural factors such as precipitation, vegetation, slope of terrain, soil properties and human activities were the main factors to affect the amount of Sediment Produced by Erosion in the water basin. And there were special conditions of climate and soil that were unique to loess areas for works of water and soil conservations. So the relationships between soil erosion and vegetation & precipitation were very complicated and interesting.

As a loess area, the Lüergou basin with the area of 12.1 km² lies in west of China. The basin was a key area of high water and soil erosion forty years ago, but the area of vegetation cover became larger and larger because of highly effective works of water and soil conservation. In the factors affecting the amount of sediment produced by erosion in the study area, which was more important for soil erosion: vegetation cover or precipitation? This question has been discussed in the expert's community since long time. And the Lüergou basin was the natural and ideal test basin.

Based on water observation data, climate data and NOAA/AVHRR NDVI images collected from 1982a to 2000a in the Lüergou basin of loess areas, analyses of the correlation and multi-variable regression were used to discuss on the relationships between the amount of sediment produced by erosion and water indexes, precipitation factors and vegetation cover. The conclusions showed that with the increase of precipitation indexes, with the decrease of plant indexes, the amount of sediment produced by

基金项目:国家重大基础研究计划课题(973项目)资助项目(2002CB111502)

收稿日期:2005-03-01; **修订日期:**2005-09-21

作者简介:余新晓(1961~),男,甘肃人,博士,教授,主要从事水土保持研究与教学. E-mail: yuxinxiao@bjfu.edu.cn

Foundation item: State Key Basic Research and Planning Project (No. 2002CB111502)

Received date: 2005-03-01; **Accepted date:** 2005-09-21

Biography: YU Xin-Xiao, Ph. D., Professor, mainly engaged in soil and water conservation. E-mail: yuxinxiao@bjfu.edu.cn

erosion in the study area would become larger.

In order to distinguish in the influences of erosion between human activity and natural factors, the paper introduced the multi-variable regression method by the standardization data to determine the relative contributing ratio to soil erosions in the study area. The conclusions showed that the contributing ratio of vegetation cover and precipitation changes were 45.7% and 54.3%. It was obvious that the influences of precipitation were larger than those of vegetation for the soil erosion in the study area.

Key words: vegetation cover; precipitation; amount of sediment produced by erosion

流域是相对完整的自然单元。它既是地表径流泥沙输移的基本单元,也是水土保持措施配置的单元,形成了相对完整、有序的生态系统^[1,2]。流域土壤侵蚀及其影响因素研究是当前全球关注的热点之一。土壤侵蚀量主要受降雨、植被、坡度、土壤性状等自然因素以及人为因素的影响^[3]。比较而言,坡度、土壤性状是地质作用的结果,形成以后很难改变。植被覆盖和降雨的变化相对较大。对同一地区而言,在较小的时间尺度上,植被与降水是影响水土流失的关键因子。

植被可以削弱雨滴的能量,植被冠层可以直接截流降雨,耗散降水径流的侵蚀能量。植被根系同样可以削弱土壤侵蚀,减少流域产沙量。主要表现在,第一,植被根系可以疏松土壤,提高其孔隙度,增加雨水入渗,减少径流。第二,植被根系对土壤的缠绕支撑和串联等作用,可以提高土壤抗侵蚀能力。

降雨是导致水土流失的原动力,雨量、雨强、雨型及其历时等降雨特征与土壤侵蚀密切相关。大量研究表明^[2,4],雨强越大、历时越长、雨量越大,对下垫面提供的侵蚀动能越大,对土壤的侵蚀能力越强。

多数研究表明^[4~7],湿润、半湿润地区径流量随雨量的增加而增加,随森林覆盖率增加而减少,与雨强关系不密切。干旱、半干旱地区径流量与降雨量、植被、地形等关系比较复杂,彼此间相关性较差。总的来讲,在一定条件下,土壤侵蚀量与雨量为正相关关系,与植被盖度为负相关关系。但对在同样的地质地貌条件下,究竟是植被对土壤侵蚀的影响更为显著,还是降雨对土壤侵蚀的影响显著,本研究就此问题,展开相关讨论。

运用统计方法来建立流域产沙强度(以输沙率、含沙量和土壤侵蚀量来标度)与影响因子的定量关系,可以填补观测过程中的数据缺失,同时预测未来流域的产沙强度,计算土壤侵蚀量。这虽然是论文进行的工作之一,但并不是主要目的。论文视流域为侵蚀-产沙系统,产沙强度为该系统的输出变量,降水量、植被覆盖状况为该系统的输入变量,试图通过多元统计方法建立输出变量和输入变量之间的定量关系。模拟水土流失在输入变量变动下的响应。判定各影响因子的变化对产沙强度变化的相对贡献率。

1 研究区概况

吕二沟位于典型的黄土地区,是渭河支流藉河右岸的一级支沟(图1)。面积12.01 km²,干燥少雨的大陆性气候。在20世纪50年代吕二沟流域水土流失现象非常严重^[8],经过近50a的综合治理,截止2000年年底,流域内实际治理面积6.88 km²,占流域总面积的57.3%,水土流失基本得到控制。

吕二沟流域上游(石门以上)农田较少,植被较好,被覆度达70%以上,石门以下被覆度较差,主要农作物有小麦、玉米、洋芋等。无原生林木,上游局部地方残存小片沙棘灌丛,人工林多系幼林,郁闭度差。自然荒坡约占流域总面积的18%,野生草本植物主要有白草、鹅冠草、硷草、蒿类等,因过度放牧生长不良。

流域土壤侵蚀的外营力主要是水蚀和重力侵蚀,风蚀轻微,年均径流模数3.026万 m³/km²,年均侵蚀模数2577.4t/km²,其中汛期输沙量占年输沙总量99.2%。

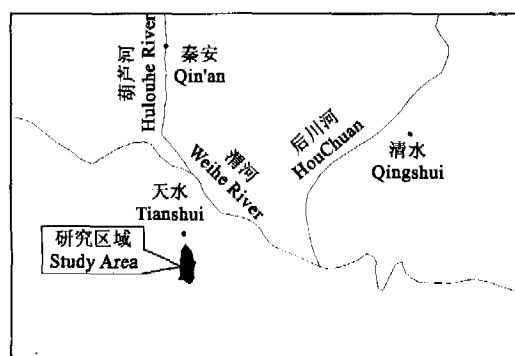


图1 吕二沟地区地理位置

Fig.1 A map showing the study area

流域的多年平均降水量 574.1mm,且降水季节分布很不平衡,主要集中于汛期(6~9 月份),该时段降水占全年降水量的 63.22%(图 2),且多以暴雨形式出现。

流域内耕地面积 576.74hm²(图 3),人均耕地 0.311hm²。其中林地面积 401.91hm²(多系新造幼林),牧草地面积 94.73hm²,水平梯田 191.72hm²。

流域为典型的黄土丘陵沟壑第三副区,近 20a 因植被覆盖明显增加,水土流失治理也初见成效。因此,该流域是研究黄土地区植被覆盖变化对水土流失的影响理想的天然试验场,得出的结论对于其他流域有一定的借鉴意义。

2 数据来源和研究方法

本文采用了水文数据、植被数据、降水数据综合分析吕二沟地区土壤侵蚀量与植被覆盖、降水因素、水文要素的关系。所涉及到的植被、降水和水文资料的年限为 1981~2000 年。

2.1 植被数据

本研究采用目前国内外最常使用、遥感监测植被覆盖状况的指标 NDVI(The Normalized Difference Vegetation Index,归一化植被指数)^[9] 衡量植被与土壤侵蚀量之间的关系。采用的遥感数据源为 NOAA/AVHRR,其中,NDVI 计算方法如下:

$$NDVI = (CH2 - CH1) / (CH2 + CH1) \quad (1)$$

NOAA/AVHRR 遥感数据由 5 个波段组成,其中 CH1 和 CH2 分别为可见光波段和近红外波段。

NOAA/AVHRR NDVI 数据采用采用每旬一幅的叠加合成图像,即每旬 10d(或 11d)的图像资料剔除云和其它噪声的影响,通过叠加合成得到一幅基本无云和其它干扰的、主要反映植被生长状况的遥感图像。该影像与区域矢量图叠加,选取与吕二沟流域相邻的 4 个像元点,以上述 4 个像元点的 NDVI 均值标度该流域实际 NDVI 值^①。

本研究选取以下 2 个指标衡量植被生长状况^[10,11]:①年 NDVI 最大值(V_p),反映当年地表植被生长的最好状况;②年 NDVI 的均值(V_m),代表当年植被的平均生长状况。

2.2 降水数据

与侵蚀有关的降水指标,前人已提出很多种^[2,4]。吕二沟流域降水分布季节上高度集中,产流、产沙高度集中于汛期。基于上述考虑,论文选取年总降水量 P_a 、汛期(6~9 月份)雨量 P_b 、最大一日雨量 P_l 、最大 30 日雨量 P_{30} 等 4 项指标模拟降水对产沙强度的影响。

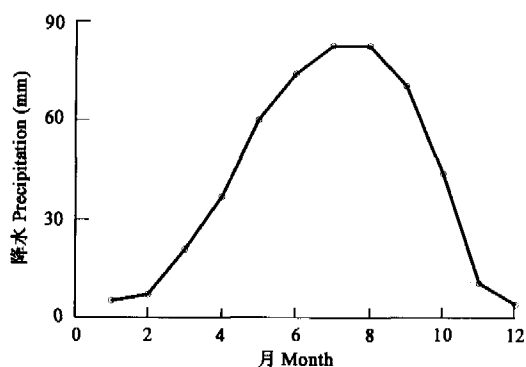


图 2 近 20a 吕二沟流域降水季节变化曲线

Fig.2 Seasonal changing curves of in Lüergou basin during 1981~2000

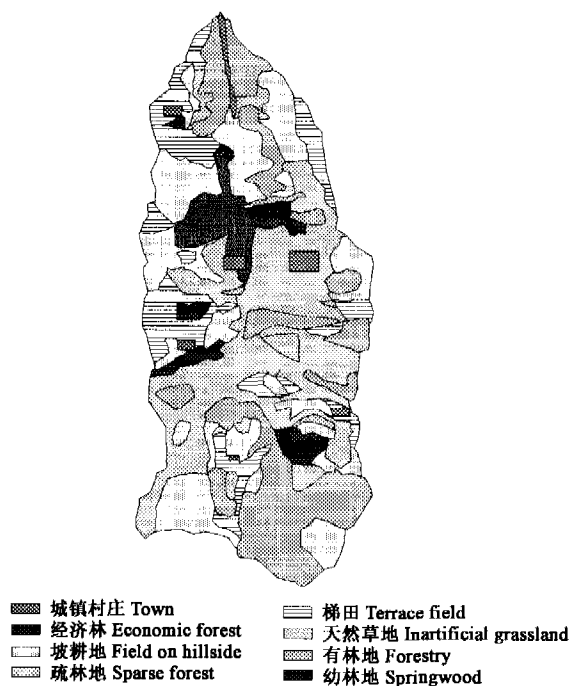


图 3 吕二沟地区 2000 年土地利用图

Fig.3 Land-use type map of Lüergou basin in 2000 year

① 鉴于相对 NOAA/AVHRR 数据的空间分辨率而言,吕二沟流域面积较小,为消除遥感影像不能精确区域定位的可能影响,在提取该流域 NDVI 数值时采用邻域平均的方法。该方法在衡量研究区某一时段数据时,可能会产生随机误差。但因遥感数据时间序列较长,基本消除了随机误差的影响,能够反映该区域植被长期变化的态势

2.3 水文资料

采用仪器观测与人工观测并行的方法先后获得了吕二沟站 1981~2000 年的多年度水文资料,包括洪水资料、降水资料、径流泥沙资料等。其中,洪水资料包括历次洪水流量、洪水总量(混水、清水)、洪水历时(涨水、落水时间)。降水资料包括降水强度、起止时间、雨情(雨量、历时、雨强);径流泥沙资料包括径流流速(最大流速、最小流速)、径流输沙量、径流系数、单位面积上土壤流失量等指标。研究中分别计算吕二沟站 1981~2000 年历年汛期日最大输沙率 QS_p (kg/s)、汛期日最大含沙量 SV_p (kg/m³)、汛期日均输沙率 QS_m (kg/s)、汛期日均含沙量 SV_m (kg/m³)、径流系数 Cr 、土壤侵蚀量 Y , 6 个与土壤侵蚀有关的水文指标,衡量流域水文条件与土壤侵蚀的关系。

3 各参量的多年动态变化趋势

3.1 NDVI 指标

图 4 为吕二沟流域 1981~2000 年 NDVI 平均值 V_m 和最大值 V_p 的变化曲线图。从图中可以看出,二者在总体上都表现出随时间而增加的趋势,与时间的相关系数分别为 0.154 和 0.533。其中, V_p 与时间的相关性变动在 0.01 水平上显著。

图 5 是该流域 1982~1989 年的植被覆盖变化图,可以对图 4 中的 V_p 变动进行解释。比较 1982 年和 1989 年的土地利用覆盖面积变化,可以看出,近几年,有林地、梯田、疏林地、居民地、果园增加。其中,面积增加最为明显的是有林地,增加了 1.54km²,其次是梯田,增加了 0.35km²。面积减少的主要有未成林地、荒草地、裸土地。其中,减少面积最大的是未成林地,减少了 1.40km²。有林地、未成林地面积出现的前增后减的态势,显然是由于后者向前者的转化而造成。结合图 4 和图 5,就可以说明近 20a 来该流域植树造林成效显著,生态环境明显变好。

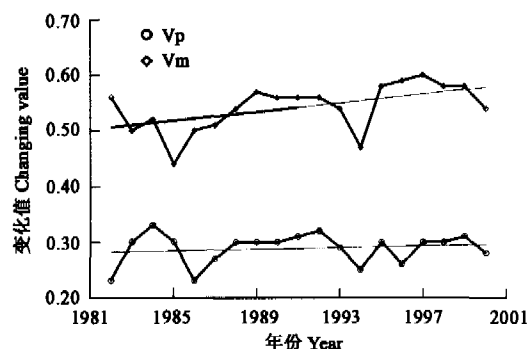


图 4 1981~2000 年吕二沟流域年 NDVI 平均值和最大值变化曲线

Fig.4 The changing curves of yearly mean and yearly peak of NDVI in Liergou basin during 1981~2000

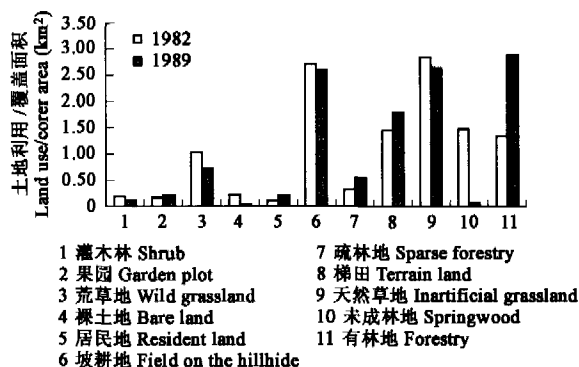


图 5 吕二沟流域 1982 年与 1989 年土地利用/覆盖面积变化曲线

Fig.5 The land use/cover changing figures in Liergou Basin in 1982 and 1989

3.2 降水指标

如前所述,分析降水量时,选取了年、汛期、月、日 4 种不同时间尺度的降水量指标。图 6 是不同时间尺度上的历年降水量变动图,反映了 20a 来降水量变化的 3 个特点。第一,年降水量和汛期降水量逐渐减小,二者与时间的皮尔逊相关系数分别为 0.46 和 0.40,均在 0.1 水平上显著,这是由于气候干旱造成的。第二,月降水量、日降水量也趋于下降,但趋势不显著,皮尔逊相关系数并没有通过检验。第三,年降水量和汛期降水量的变动趋势一致。这是因为该流域绝大部分降雨主要发生在汛期,汛期是影响全年降水的关键时段。

3.3 含沙量和输沙量

图 7a,图 7b 是吕二沟历年的日最大输沙率 QS_p 和日最大含沙量 SV_p 随时间的变化图。可以看到, QS_p 和 SV_p 在总体上表现为随时间而减少,但这一趋势并不显著。二者与年份的相关系数均没有通过显著性检验。

图 7c, 图 7d 是吕二沟历年的汛期日均输沙量 QS_m 和汛期日均含沙量 SV_m 随时间的变化图。可以看出, QS_m 和 SV_m 在总体上都表现出随时间而增加的趋势。同样, 这一趋势并不显著, 二者与年份的皮尔逊相关系数均没有通过显著性水平检验。

3.4 土壤侵蚀量指标

图 8 为吕二沟流域土壤侵蚀量随时间的变化曲线图。可以看出, 流域土壤侵蚀量 Y_i 随时间的推移而下降, 二者之间的相关系数为 -0.378 , 在 0.1 水平上显著。土壤侵蚀量的这一变化是降水量减少和植被增加共同作用的结果。对比图 7a 和图 8 可以看出, 土壤侵蚀量与日最大输沙量的变化趋势相似, 均在 1985 年出现异常偏高数值。如果不考虑这一异常偏高值, 近 20a 流域土壤侵蚀量与日最大输沙量一样, 基本无显著变化。

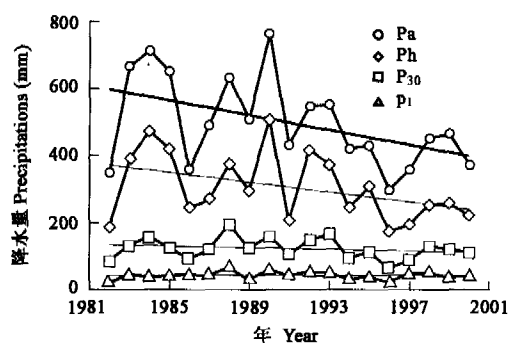


图 6 1981~2000 年吕二沟流域不同时间尺度降水量的变化曲线

Fig. 6 The changing curves of precipitations with different temporal scales in Liergou Basin during 1981~2000

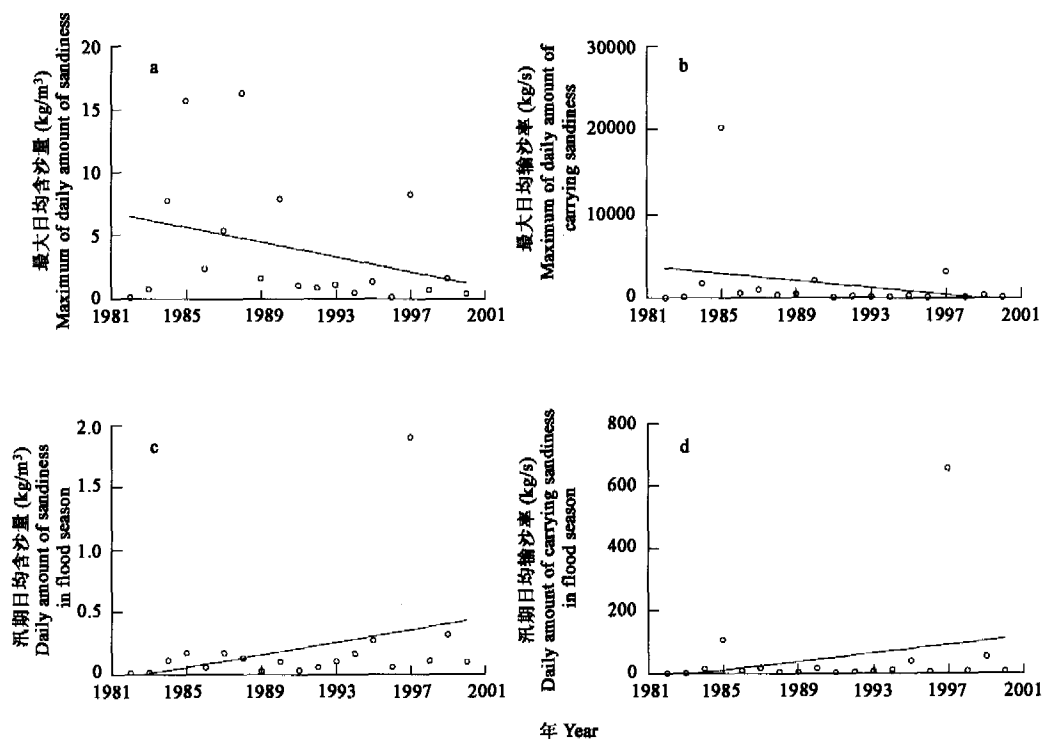


图 7 1981~2000 年吕二沟流域含沙量和输沙量参数的变化曲线

Fig. 7 The changing curves of amounts of containing and carrying sand in Liergou Basin during 1981~2000

4 结果分析

4.1 分析方法

采用皮尔逊相关系数和回归分析, 主要分析了研究区土壤侵蚀量与水文、降水、植被的定量关系。

简单皮尔逊相关系数的计算仅仅考虑了两个变量之间的相关关系, 并没有考虑其他变量同时给予的影响。因此, 可以通过简单皮尔逊相关系数剔除没有通过检验的指标, 要系统考察各自变量、因变量之间的定量关系, 可以建立选入自变量与因变量之间的回归模型, 利用模型中的偏相关系数和回归系数进行解析。

由于定量计算模型中各变量的数量级相差很大, 不能直接根据回归系数的大小确定各变量贡献的大小。因此, 为消除噪音影响, 对各参量进行极值标准化处理, 使标准化后的数据处于 $0 \sim 1$ 之间。标准化处理的公

式为:

$$x'_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

利用标准化后的数据重新进行回归计算。新回归模型中,各参量系数的大小反映了相应参量变化在因变量变化中贡献率的大小。

4.2 分析结果

4.2.1 相关分析结果 吕二沟流域主要的土壤侵蚀发生在汛期,因此选取和汛期相关的指标进行相关分析。植被盖度的减沙作用在很大程度上是通过减小径流系数实现的,因此,在分析中引入径流系数 Cr 。表 1 为各参量的皮尔逊相关系数分析结果。

本研究以输沙量、含沙量和土壤侵蚀量来标度流域产沙强度。从表 1 可以看出,日最大输沙率 QS_p 与土壤侵蚀量 Y_t 、汛期日最大含沙量 SV_p 、径流系数 Cr 正相关,与 V_p 负相关,相关系数分别为 0.98、0.64、0.52、-0.54。其中,前二者在 0.01 水平上显著,后二者在 0.1 水平上显著。

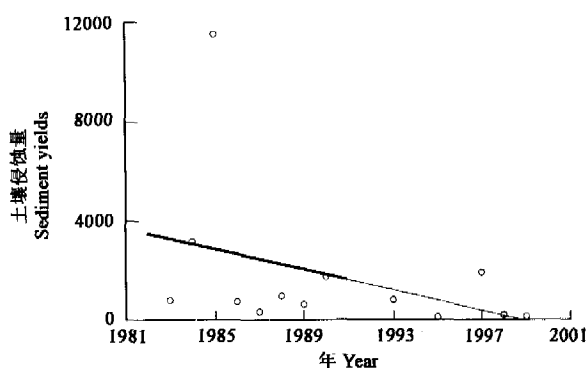


图 8 1981~2000 年吕二沟流域土壤侵蚀量的变化曲线

Fig.8 The changing curves of sediment yields in Lüergou Basin during 1981 ~ 2000

表 1 水文指标、气候指标、植被指标与土壤侵蚀指标相关系数矩阵

Table 1 Correlation coefficient matrix of water indexes, climate indexes, vegetation cover and sediment yields

	V_m	V_p	SV_p	QS_p	SV_m	QS_m	P_a	P_h	P_1	P_{30}	Cr	Y_t
V_m	1.00											
V_p	0.22	1.00										
SV_p	0.29	-0.34	1.00									
QS_p	0.15	-0.54*	0.64**	1.00								
SV_m	0.14	0.32	0.25	0.11	1.00							
QS_m	0.14	0.26	0.29	0.23	0.99**	1.00						
P_a	0.60**	-0.36	0.54*	0.32	-0.24	-0.21	1.00					
P_h	0.56**	-0.33	0.48*	0.31	-0.25	-0.22	0.95**	1.00				
P_1	0.46	-0.03	0.48*	0.05	0.14	0.13	0.55*	0.56**	1.00			
P_{30}	0.60	-0.12	0.48*	0.03	-0.23	-0.25	0.82**	0.81**	0.74**	1.00		
Cr	0.37	-0.35	0.70**	0.52*	0.41*	0.49*	0.43*	0.42*	0.22	0.22	1.00	
Y_t	0.18	-0.67**	0.65**	0.98**	0.02	0.15	0.37*	0.40*	-0.07	-0.01	0.64**	1.00

* 显著性水平 0.1; ** 显著性水平 0.01

汛期日最大含沙量 SV_p 与径流系数 Cr 、土壤侵蚀量 Y_t 、日最大输沙率 QS_p 为典型正相关,相关系数分别为 0.70、0.65、0.64,均在 0.01 水平上显著;与年降水量 P_a 、汛期降水量 P_h 、日最大降水量 P_1 、月最大降水量 P_{30} 也为正相关,相关系数分别为 0.54、0.48、0.48、0.48,均在 0.1 水平上显著。

汛期日均含沙量 SV_m 与汛期日均输沙率 QS_m 正相关,相关系数达到 0.99;二者分别与径流系数 Cr 正相关,均在 0.1 水平上显著。

土壤侵蚀量 Y_t 与年最大 NDVI 值 V_p 负相关,与汛期日最大含沙量 SV_p 、汛期日最大输沙率 QS_p 、径流系数 Cr 显著正相关,相关系数分别为 -0.67、0.65、0.98、0.64,均在 0.01 水平上显著。另外,与汛期雨量 P_h 、年降水量 P_a 正相关,相关系数分别为 0.40、0.37,并在 0.1 水平上显著。

仅就简单皮尔逊相关系数而言,虽然吕二沟流域的土壤侵蚀与径流指标、降水、植被覆盖均具有较高的相关性,但无疑前者要高于后两者。

4.2.2 回归分析结果 如前所述,以通过显著性检验的指标为自变量,分别建立 SV_p 、 QS_p 、 SV_m 、 Y_t 的定量计算模型。同时,采用(2)式标准化各自变量,重新建立回归模型,以解释各自变量在因变量中的贡献率(表 2)。

表 2 水文指标、气候指标、植被指标与土壤侵蚀指标回归分析结果

Table 2 Regression analyses of water indexes, climate indexes, vegetation cover and sediment yields

因变量 Dependent variable	定量计算模型 Regression model	标准化后的回归模型 Regression model standardized	复相关系 数的平方 R square	显著性水平 Sig.
SV_p	$-10.641 + 0.001198 QS_p + 0.006479 P_a + 0.0214 P_h + 0.07838 P_{30} + 0.112 P_1 + 0.247 Cr + 0.00128 Y_s$	$1.194 QS_p + 0.156 P_a + 0.373 P_h + 0.435 P_{30} + 0.204 P_1 + 0.486 Cr - 0.714 Y_s$	0.781	0.16
QS_p	$-5054.190 - 9355.211 V_p + 51.507 SV_p + 103.739 Cr + 2.019 Y_s$	$-0.077 V_p + 0.052 SV_p + 0.205 Cr + 1.128 Y_s$	0.982	0.0001
SV_m	$0.126 + 0.0043 Cr + 0.0029 QS_m$	$0.094 Cr + 1.034 QS_m$	0.983	0.0001
Y_s	$1098.878 - 3413.604 V_p + 23.053 SV_p + 0.484 QS_p + 1.408 P_a + 4.821 P_h + 44.648 Cr$	$-0.153 V_p + 0.041 SV_p + 0.866 QS_p + 0.061 P_a + 0.121 P_h + 0.158 Cr$	0.993	0.0001

(1)日最大含沙量和输沙率 比较 SV_p 、 QS_p 模型的各变量系数,可以看出:①日最大输沙量 QS_p 变动中土壤侵蚀量(Y_s)变化的贡献率最大,回归系数为 1.128。②日最大输沙量(QS_p)与日最大含沙量 SV_p 的之间为正向变化,在影响 SV_p 变化的各自变量中贡献最大。土壤侵蚀量(Y_s)的贡献次之。③在影响 SV_p 变化的不同时间尺度的 4 个降水因子中,月最大降水 P_{30} 和汛期降水 P_h 的贡献最大,回归系数分别为 0.435、0.373。④日最大含沙量与日最大输沙量显著相关,二者受土壤侵蚀量的影响极大,与径流系数显著相关。比较而言,日最大含沙量与降雨的关系更密切,日最大输沙量与植被覆盖的关系更为密切。

(2)汛期日均含沙量和输沙率 由于汛期日均含沙量 SV_m 与汛期日均输沙率 QS_m 二者高度相关,因此下文中仅采用日均含沙量 SV_m 指标分析河流径流水文、植被覆盖变化对土壤侵蚀的影响。

可以看出:在影响 SV_m 变化的两个因素中 Cr 、 QS_m 中, QS_m 的贡献率最大,回归系数为 1.034,远远超过 Cr 的回归系数 -0.094。

与日最大含沙量与输沙率不同,汛期日均含沙量与输沙率主要受径流系数的影响,而在一定地质地貌条件下,径流系数主要由植被覆盖决定,因此,汛期日均含沙量与输沙率受植被覆盖的影响大于受降水的影响。

(3)土壤侵蚀量 Y_s 从表 1 和表 2 可以看出,土壤侵蚀量 Y_s 随 SV_p 、 QS_p 、 Cr 、 P_h 、 P_a 的增加而增大,随 V_p 的增加而减小。可见,土壤侵蚀量随植被覆盖的增加而减小,这主要因为植被覆盖增加,增加降雨入渗,减少径流系数和径流量,使径流的侵蚀、搬运能力减弱,故侵蚀量减少,因而产沙能力减小,土壤侵蚀量减少。

基于标准化后的数据重新进行回归计算,得到土壤侵蚀量 Y_s 的标准化后的回归模型(表 2)。比较各变量系数可以看出:汛期最大日均输沙率 QS_p 的减少对减小流域土壤侵蚀的贡献最大,为 61.9%,二者的相关系数也高达 0.98;径流系数 Cr 的减小对减小土壤侵蚀的贡献居第 2 位,为 11.3%。在 2 个降水因子中,汛期降水量 P_h 的贡献最大,为 8.7%。

回归系数的绝对值即表示各自变量对因变量的相对贡献率。由此可见,以年降水量和汛期降水量代表降水变化,以 NDVI 年最大值代表植被覆盖,植被盖度和降水变化对吕二沟流域土壤侵蚀量变化的贡献率分别为 45.7% 和 54.3%,可见土壤侵蚀量受降水的影响要略大于受植被覆盖的影响,这与许炯心的结论一致^[2]。

5 结论

吕二沟最大日均含沙量表现出随时间而减少的趋势。NDVI 年最大值随时间减小的趋势极其显著。流域年降水量和汛期降水量随时间呈现出减少的趋势。

日最大含沙量与日最大输沙率显著相关,且二者受土壤侵蚀量的影响极大,它们与径流系数显著相关。比较而言,日最大含沙量与降雨的关系更密切,日最大输沙量与植被覆盖的关系更为密切。与此不同,汛期日均含沙量与输沙量受植被覆盖的影响大于受降水的影响。

以 1982~2000 年 19a 的资料为基础,进行土壤侵蚀量参量与径流指标、降水指标、植被覆盖指标之间的相关与多元回归分析,结果表明,土壤侵蚀量 Y_s 随日最大含沙量 SV_p 、日最大输沙率 QS_p 、径流系数 Cr 等径流指标,汛期降雨量 P_h 、年降雨量 P_a 、最大 30 日累积雨量 P_{30} 、最大一日雨量 P_1 等降雨指标的增加而增大,随年

NDVI 最大值 V_p 、年 NDVI 平均值 V_m 等植被覆盖指标的增加而减小。

为了区分人为因素与气候变化对侵蚀产沙的影响,采用对数据进行标准化处理之后再行多元回归分析的方法,来确定相对贡献率。结果表明,植被盖度和降水变化对吕二沟流域土壤侵蚀量变化的贡献率分别为 45.7% 和 54.3%,可见土壤侵蚀量受降水的影响要略大于受植被覆盖的影响。

本文是基于黄土地区吕二沟流域相关数据进行分析,上述结论是否适用于其他流域,有待进一步验证。

References:

- [1] Leng S Y, Feng R G, Li R, *et al.* Key research issues of soil erosion and conservation in China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(2): 1 ~ 6.
- [2] Xu J X. Response of erosion and sediment producing processes to soil and water conservation measures in the Wudinghe river basin. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 972 ~ 981.
- [3] Yin Z D, Zhou X C, Zhu J Z. Study on the factors affecting soil erosion. *World Forestry Research*, 2003, 16(3): 32 ~ 36.
- [4] Wang Z Y, Wang G J, Li C Z, *et al.* Primary discovery and application of vegetation and erosion dynamics. *Science in China(Series D)*, 2003, 33(10): 1013 ~ 1023.
- [5] Yang C J, Zhang Z X, Han X Z, *et al.* Analysis on soil erosion under different vegetation index condition of China. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(2): 26 ~ 29.
- [6] Yu X X and Qin Y S. Effect of forest cover on sediment yield produced by erosion in different spatial scales. *Research of Soil and Water Conservation*, 2001, 8(4): 66 ~ 69.
- [7] Ma Z L, Gong Y B, Hu T X, *et al.* Summary of the studies on relation between forest coverage and water and soil conservation. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2003, 21(1): 54 ~ 58.
- [8] Zhang M L, Zhang H Q, Huang G X. Features of water and soil erosion and effects of water and soil conservation in Ltingou basin. Zhengzhou: Water Conservancy Press of Yellow River, 2004. 10.
- [9] Stephen J Walsh, Thomas W Crawford, William F Welsh, Kelley A. Crews-Meyer. A multiscale analysis of LULC and NDVI variation in Nang Rong district, northeast Thailand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, (85): 47 ~ 64.
- [10] Li X B, Shi P J. Sensitivity analysis of variation in NDVI, temperature and precipitation in typical vegetation types across China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3): 379 ~ 382.
- [11] Zhang X X, Ge Q S, Zheng J Y. Relationships between climate change and vegetation in Beijing using Remote Sensed data and phenological data. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(4): 499 ~ 506.

参考文献:

- [1] 冷疏影,冯仁国,李锐,等.土壤侵蚀与水土保持科学重点研究领域与问题. *水土保持学报*, 2004, 18(2): 1 ~ 6.
- [2] 许炯心. 无定河流域侵蚀产沙过程对水土保持措施响应. *地理学报*, 2004, 59(6): 972 ~ 981.
- [3] 尹忠东,周心澄,朱金兆.影响水土流失的主要因素研究概述. *世界林业研究*, 2003, 16(3): 32 ~ 36.
- [4] 王兆印,王光谦,李昌志,王费新.植被-侵蚀动力学的初步探索和应用. *中国科学(D 辑)*, 2003, 33(10): 1013 ~ 1023.
- [5] 杨存建,张增祥,韩秀珍,等.不同植被指数情况下的中国土壤侵蚀特征分析. *水土保持通报*, 2001, 21(2): 26 ~ 29.
- [6] 余新晓,秦水胜.森林植被对坡地不同空间尺度侵蚀产沙影响分析. *水土保持研究*, 2001, 8(4): 66 ~ 69.
- [7] 麻泽龙,宫渊波,胡庭兴,等.森林覆盖率与水土保持关系研究进展. *四川农业大学学报*, 2003, 21(1): 54 ~ 58.
- [8] 张满良,张海强,黄桂香.吕二沟流域水土流失特征及水保措施效益分析.见黄河水利委员会天水水土保持科学试验站编《黄土丘陵沟壑第三副区水土流失原型观测及规律研究》.郑州:黄河水利出版社,2004. 10
- [10] 李晓兵,史培军.中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 379 ~ 382.
- [11] 张学霞,葛全胜,郑景云.北京地区气候变化与植被的关系——基于遥感数据和物候资料的分析. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 499 ~ 506.