

孤山川流域近 30 年土壤侵蚀时空动态特征分析

姚志宏¹ 杨勤科² 武艳丽³ 李 锐⁴

1 华北水利水电大学资源与环境学院,河南 郑州,450011

2 西北大学城市与环境学院,陕西 西安,710127

3 河南省煤田地质局资源环境调查中心,河南 郑州,450003

4 中国科学院水利部水土保持研究所,陕西 杨凌,712100

摘要:针对区域水土保持效益评价、土壤流失治理的需求,选择黄土高原土壤侵蚀较为严重的孤山川流域为研究区,定量研究了孤山川流域近 30 a 的土壤侵蚀时空变异特征。结果表明,1975~2006 年间,研究区土壤侵蚀的变化分两个阶段。第一阶段为 1975~1986 年,土壤侵蚀强度加剧,侵蚀面积增加了 138.13 km²,流域东南部增加最多;第二阶段为 1986~2006 年,全流域土壤侵蚀强度减弱,侵蚀面积减少了 163.09 km²,1986 年和 1997 年,东部地区减弱趋势更明显。中度以上的土壤侵蚀主要发生在高程 1 070~1 300 m 处,都对应于 18°~35°的陡坡地;1975 年和 2006 年,中度以上侵蚀分别集中在 900~1 150 和 1 300~1 800,单位为 MJ·mm·hm⁻²·h⁻¹。流域土壤侵蚀主要发生在耕地和林地。1975~2006 年,耕地面积减少,林草地面积增加,土地利用向良性循环发展。可为认识黄土丘陵沟壑区 I 副区土壤侵蚀规律和该区土壤侵蚀防治宏观决策提供科学支撑。

关键词:孤山川流域;土壤侵蚀;时空动态特征;地理信息系统

中图法分类号:P208;S157.1 **文献标志码:**A

孤山川流域是黄土高原典型支流,是黄河的粗泥沙集中来源区,也是黄土高原侵蚀较为严重的地区之一,属学术界关注的热点。针对该区的研究主要包括多沙粗沙区域和粗泥沙集中来源区界定^[1]、多沙粗沙区域侵蚀量计算^[2]等。但对该区土壤侵蚀时空特征的研究较薄弱。

目前对区域尺度土壤侵蚀的研究成果可以概括为:① 利用调查的方法进行土壤侵蚀评价^[3];② 利用遥感和 GIS 技术编制土壤侵蚀图^[4-5];③ 将遥感和 GIS 技术方法与土壤侵蚀模型结合,对较大区域进行土壤侵蚀评价与时空动态分析^[6-7]。本研究将土壤侵蚀模型、遥感和 GIS 技术集成,利用 1975 年、1986 年、1997 年和 2006 年 4 个年度的数据,对孤山川流域 1975 年来近 30 a 的土壤侵蚀进行定量评估,分析其土壤侵蚀时空动态特征。

1 研究区概况

孤山川是黄河中游右岸的一级支流。干流长

79 km,流域面积 1 272 km²。流域地处半干旱大陆性季风气候区,多年平均降水量约 410 mm。降水年际变化大且年内分配不均,汛期(6~9 月)降雨量可占全年降雨量的 80%。高强度暴雨是流域内径流、泥沙产生的主要原因。流域内地貌类型主要是黄土丘陵沟壑,上游有少部分黄土盖沙区。主要土壤类型为黄绵土,约占 66.07%,其次为栗钙土,约占 26.74%。土壤侵蚀类型以水蚀为主,西北部地区春季和冬季有风蚀,沟壑地区有重力侵蚀。建国以来,我国政府进行了长期系统的治理。

2 基础数据与方法

2.1 数据与方法简介

本文基础数据主要包括降雨侵蚀力、土壤可蚀性、DEM、土地利用等专题数据。

通用土壤流失方程 USLE 及其修订版 RUSLE 结构简洁,是目前世界上推广应用最广泛的

收稿日期:2013-03-25

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41071188);水利部公益性行业专项经费项目资助项目(201201081-02);华北水利水电大学高层次人才科研启动资助项目(201244)。

第一作者:姚志宏,博士,主要研究方向为水土保持与 GIS 应用。E-mail: yaozhihong@ncwu.edu.cn

通信作者:杨勤科,博士,教授。E-mail: qkyang@126.com

土壤侵蚀模型^[8]。我国学者以此为基础,结合我国水土保持措施特点,开发了我国土壤侵蚀方程 CSLE^[8]。本研究利用 CSLE,并借鉴中国坡面水蚀预报模型中的浅沟侵蚀因子^[9-10]和水利部标准对风蚀强度的等级评价^[11],估算每个栅格单元的土壤侵蚀量,结合遥感和 GIS 技术,完成对研究区的土壤侵蚀评价和时空分析:

$$A_c = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot B \cdot E \cdot T \cdot g + W \quad (1)$$

$$A_t = \left(\sum_{c=1}^n (A_c \times S_c) \right) / \sum_{c=1}^n S_c \quad (2)$$

$$E_t = A_t \times S_t = \sum_{c=1}^n A_c \times S_c \quad (3)$$

式中, A_c 为每个栅格单元的土壤侵蚀模数,单位为 $t/ha \cdot a$,乘以 100 单位转换成 $t/(km^2 \cdot a)$; R 为降雨侵蚀力,单位为 $MJ \cdot mm \cdot ha^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1}$; K 为土壤可蚀性,单位为 $t \cdot ha \cdot h/(ha \cdot MJ \cdot mm)$; L 为坡度坡长因子, B 为生物措施因子, E 为工程措施因子, T 为耕作措施因子,均无量纲; g 为沟蚀因子系数,为大于等于 1 的无量纲因子; W 为每个计算单元的风蚀强度; A_t 为流域年平均侵蚀模数,单位为 $t/(km^2 \cdot a)$; S_c 、 S_t 分别为计算单元面积和流域总面积,单位为 km^2 ; E_t 为

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[0.0256 SAN(1 - SIL/100)]\} \times \frac{SIL}{CLA + SIL}^{0.3} \times \left[1.0 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)}\right] \times \left[1.0 - \frac{0.7SN1}{SN1 + \exp(-5.51 + 22.9SN1)}\right] \quad (6)$$

式中, SAN 、 SIL 和 CLA 是砂粒、粘粒和有机碳含量(%), $SN1 = 1 - SAN/100$; K 单位为美制,乘以系数 0.1317 转换成国际制单位 $t \cdot ha \cdot h/(ha \cdot MJ \cdot mm)$ (吨·公顷小时/(公顷·兆焦耳·毫米))。

2.2.3 坡度坡长因子(LS)

基于 DEM 基础数据,根据 Van Remorte 提供的 AML 语言程序^[14] 计算坡度和坡长。采用 CSLE 模型中计算方法^[15-16] 计算坡度因子和坡长因子,利用 LS 计算工具^[17],生成 LS 表面模型:

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03, & \theta < 5^\circ \\ 16.8 \sin \theta - 0.05, & 5^\circ \leq \theta < 14^\circ \\ 21.91 \sin \theta - 0.96, & \theta \geq 14^\circ \end{cases} \quad (7)$$

$$L = (\lambda/22.1)^m \quad (8)$$

$$m = \begin{cases} 0.2, & \theta \leq 1^\circ \\ 0.3, & 1^\circ < \theta \leq 3^\circ \\ 0.4, & 3^\circ < \theta \leq 5^\circ \\ 0.5, & \theta > 5^\circ \end{cases} \quad (9)$$

式中, L 为坡长因子; λ 为由 DEM 提取的坡长,单位为 m ; 22.1 为 22.1 m 标准小区坡长; α 为坡度坡长指数,黄土高原取 0.5; S 为坡度因子; θ 为坡

流域年侵蚀总量,单位为 $10^4 t$ 。

2.2 因子计算方法

2.2.1 降雨侵蚀力 R

采用月降雨量估算降雨侵蚀力的简易公式,如式(4)、式(5)^[12],计算了研究区及周围 9 个站点 4 个年度(1975、1986、1997、2006)的降雨侵蚀力值,根据计算降雨侵蚀力结果,在 ArcGIS 下采用反距离权重内插方法(IDW)得到研究区降雨侵蚀力的空间分布:

$$R = \alpha_2 F^{\beta_2} \quad (4)$$

$$F = \left(\sum_{i=1}^{12} P_i^2 \right) P^{-1} \quad (5)$$

式中, P 为年平均降雨量, P_i 为第 i 月的平均降雨量,单位均为 mm ; R 为多年平均降雨侵蚀力,单位同式(1); $\alpha_2 = 0.3589$, $\beta_2 = 1.9462$ 为模型参数。 F 指数的大小与年平均雨量 P 的季节分布有关,取值范围在 $P \cdot 12^{-1} \sim P$ 之间。

2.2.2 土壤可侵蚀性 K

对收集到的府谷、准旗土壤类型图进行数字化编辑及合并,然后根据式(6)^[13] 计算每个土壤类型的 K 值,进而得到 K 因子图:

度值。

2.2.4 水土保持措施因子

水土保持措施因子包括生物措施因子(B)、工程措施因子(E)和耕作措施因子(T),三者均为无量纲参数。

1) B 因子值。利用遥感解译的土地利用图和基于遥感影像提取的 NDVI 计算植被盖度图^[18]:

$$f = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI - NDVI_{\max}} \quad (10)$$

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (11)$$

式中, f 为植被盖度; $NDVI$ 为归一化植被指数。

由式(11)计算所得的图像中, NIR 和 RED 分别为近红外光谱和红光谱; $NDVI_{\min}$ 和 $NDVI_{\max}$ 分别为无植被地区的 $NDVI$ 值和植被良好覆盖地区的 $NDVI$ 值,该值根据土地利用图,通过在 SPOT VEGETATION 图像采样方得到。

参考 USLE 手册和有关研究成果^[19-20],赋予研究区不同土地利用类型和不同盖度下 B 值(表 1),利用 ArcGIS 平台获得整个研究区的 B 因子图。

表1 孤山川流域不同土地利用类型和不同植被盖度下的B值

Tab.1 B Value of Different Types of Land Uses and Vegetation Coverage in the Gushanchuan Basin

土地利用类型	林地					建设用地	水体
植被盖度/%	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100		
B值	0.1	0.08	0.06	0.02	0.004	0.900	1.000
土地利用类型	草地					耕地	
植被盖度/%	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100		
B值	0.45	0.24	0.15	0.09	0.043	0.230	

2) E 因子值。采用谢红霞^[21]提出的方法计算:

$$E = (1 - \frac{S_t}{S} \times \alpha)(1 - \frac{S_d}{S} \times \beta) \quad (12)$$

式中, S_t 为梯田的面积; S_d 为淤地坝的控制面积; S 为土地的总面积; α 、 β 分别代表梯田和淤地坝的减沙系数, 分别确定为 0.764 和 1。由于缺少准格尔旗工程措施方面的数据资料, 仅根据榆林市

统计年鉴确定府谷县的工程措施实施面积, 计算出 E 值, 代替全流域的工程措施因子值。

3) T 因子。T 值是根据在不同的坡度条件下等高耕作减少土壤的流失来确定的(表 2)^[22]。在 ArcGIS 下进行地图代数运算, T 值在坡度为 0° 时为 1, 5°~10° 时为 0.221, 10°~15° 时为 0.305, 15°~20° 时为 0.575, 20°~25° 时为 0.705, 大于 25° 时为 1。

表2 孤山川流域不同坡度条件下的耕作措施 T 因子值

Tab.2 Value of the Tilling Measure Factor Under Different Slope Gradient in the Gushanchuan Basin

坡度范围	0°	≤5°	5°~10°	10°~15°	15°~20°	20°~25°	>25°
耕作措施因子值	1	0.100	0.221	0.305	0.575	0.705	1

2.2.5 沟蚀因子 g

根据江忠善等研究^[9-10]提出的浅沟侵蚀影响因子简易模型(式(13)), 依据流域坡度图和植被盖度图计算出研究区 1975、1986、1997 和 2006 年的 g 值:

$$g = 1 + 1.60\sin(\theta - 15) \quad (13)$$

式中, g 为沟蚀因子, 无量纲; θ 为坡度。

2.2.6 风蚀影响 W

考虑到本研究主要针对水蚀, 而国内风蚀定量评价研究比较薄弱, 所以用 SL190-2007^[11] 中的定性评价指标进行风蚀强度等级评价, 用强度等级对应的侵蚀模数中值与水蚀模数相加。依据流域的风蚀范围和植被覆盖度图来计算流域的风

力侵蚀值。

3 结果分析

3.1 侵蚀因子的时空变化

3.1.1 降雨侵蚀力变化

由图 1 可以看出, 孤山川流域降雨侵蚀力的空间差异十分明显。1975 年 R 值由西向东逐渐减小; 1986 年和 1997 年 R 值由南向北逐渐减小, 2006 年 R 值由东南向西北逐渐增大。2006 年的年降雨侵蚀力最小, 均值不足 1 000, 其余年份均在 1 500 以上, 单位为 $MJ \cdot m \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1}$ 。

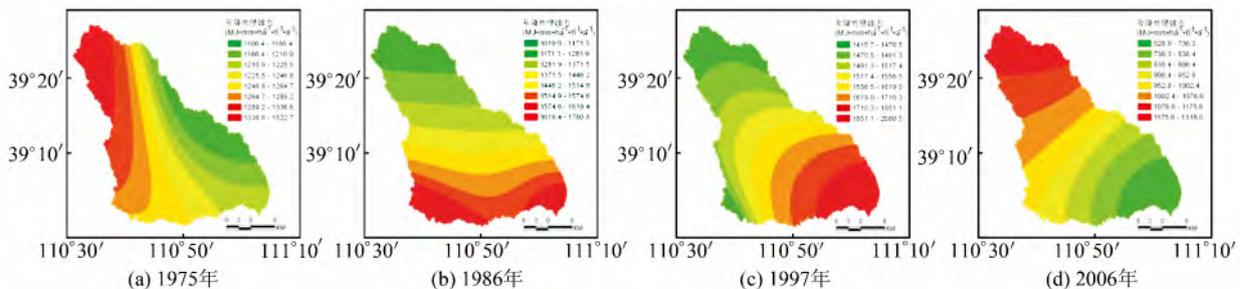


图1 孤山川流域降雨侵蚀力

Fig.1 Rainfall Erosivity in Gushanchuan Basin

3.1.2 土壤可蚀性因子计算结果

利用收集到的府谷、准旗土壤类型图进行数

字化编辑及合并得到 K 值, 主要范围为 0.015 4~0.016 6, 其中, 在主要土壤类型黄绵土分布的

地区, K 值介于 0.015 6 ~ 0.016 6 间, 分布范围最大。

3.1.3 地形因子计算结果

计算得到的地形因子包括坡度、坡长和坡度

坡长因子, 如图 2 所示。由图 2 可以发现, 坡度坡长因子 LS 值与坡度的空间分布最为相似, 而与坡长的空间分布差别较大。这也证明了在黄土丘陵区, 坡度是影响土壤侵蚀主要的地形因子。

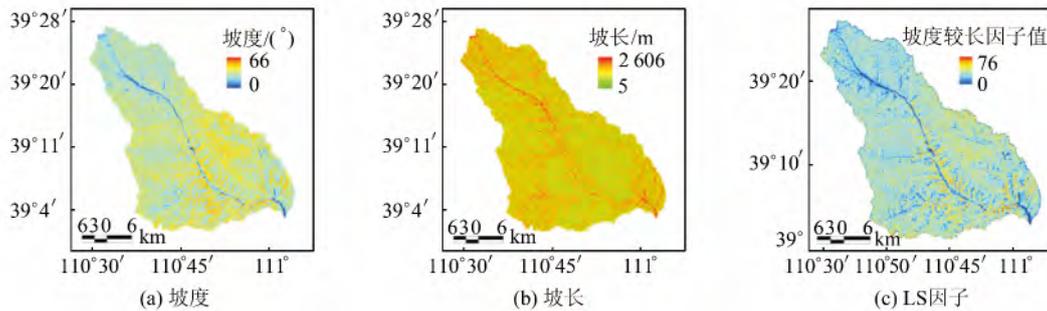


图 2 孤山川流域地形因子图

Fig. 2 Terrain Factors of the Gushanchuan Basin

3.1.4 BET 因子与沟蚀因子计算结果

计算得到的生物措施因子 B 分布与土地利用分布一致, 4 个年度平均值分别为 0.158、0.203、0.168 和 0.145。计算得到的工程措施因子 E 值分别为 0.901 6、0.902 9、0.865 8 和 0.842 0, 由于资料的限制, 暂不能反映空间分布。耕作措施因子 T 的 4 个年度的平均值分别为 0.807、0.795、0.817 和 0.883, 说明退耕还林前后耕作措施减少, 土壤流失量变化明显。计算得出

研究区这 4 年的沟蚀因子 G 的平均值分别为 1.08、1.004、1.015 和 1.029。

3.2 土壤侵蚀时空变化

利用上述计算的各因子图层和式 (1), 在 ArcGIS 中通过地图代数运算, 得到各年度土壤侵蚀模数图。如图 3 所示, 各年平均侵蚀模数分别为 1 579.64、2 659.64、2 510.06 和 1 403.6, 单位为 $t/(km^2 \cdot a)$ 。每年各侵蚀程度的面积及所占百分比统计见表 3。

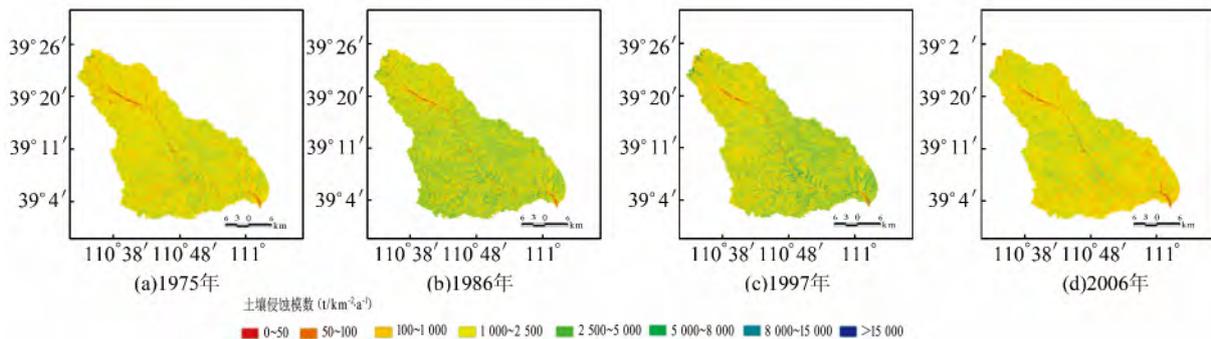


图 3 孤山川流域土壤侵蚀模数图

Fig. 3 Soil Erosion Modulus in the Gushanchuan Basin

表 3 孤山川流域土壤侵蚀面积动态变化

Tab. 3 Dynamic Changes in the Soil Erosion Area of the Gushanchuan Basin

年代	轻度侵蚀		中度侵蚀		强度侵蚀		极强度侵蚀		剧烈侵蚀		侵蚀面积/km ²	占土地总面积/%
	面积/km ²	%	面积/km ²	%	面积/km ²	%	面积/km ²	%	面积/km ²	%		
1975	598.33	47.04	175.19	13.77	42.01	3.30	17.67	1.39	5.54	0.44	838.75	65.94
1986	503.45	39.58	291.82	22.94	119.15	9.37	45.56	3.58	16.90	1.33	976.88	76.80
1997	489.13	38.45	269.09	21.15	122.81	9.65	50.51	3.97	10.46	0.82	941.98	74.06
2006	598.68	47.07	171.20	13.46	33.88	2.66	8.16	0.64	1.88	0.15	813.79	63.98

通过分析可知, 孤山川流域土壤侵蚀状况从 1975~2006 年经历了以下两个阶段。

第一阶段为 1975~1986 年, 土壤侵蚀状况加剧, 平均土壤侵蚀模数从 1 396.86 $t/(km^2 \cdot a)$ 增

加到 3 744.50 $t/(km^2 \cdot a)$, 土壤侵蚀面积增加了 138.13 km^2 , 土壤侵蚀面积比从 65.94% 增加到 76.80%。土壤侵蚀减少的面积只占总面积的 5.35%, 约 47.96% 的地方侵蚀无变化, 46.69% 的

地方侵蚀强度增加。流域西南部侵蚀增加最少,其次为北部,东南部土壤侵蚀增加最多,见图4。

第二阶段为1986~2006年,平均土壤侵蚀模数从3744.50 t/(km²·a)减少到1573.19 t/(km²·a),土壤侵蚀的面积减少了163.09 km²,土壤侵蚀占百分比从76.80%减小到63.98%,其中1997~2006年变化较大,土壤侵蚀面积减少了128.19 km²。该阶段土壤侵蚀减少的面积占总面积的49.45%,分布在整个流域,尤其是流域的东部地区;43.85%的地方侵蚀无变化,仅6.70%的地方侵蚀强度增加,增加部分主要分布在流域西北部,流域的土壤侵蚀得到了较好控制。

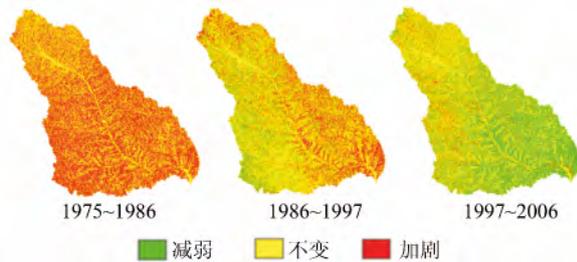


图4 孤山川流域土壤侵蚀强度变化

Fig. 4 Changes in Soil Erosion Intensity in the Gushanchuan Basin

3.3 土壤侵蚀时空格局与土地利用相关分析

孤山川流域的土地利用方式主要是草地和耕地,其次是沙地和林地,居民地与水体所占比例较小。将1975~2006年侵蚀强度图内中度以上侵蚀部分与土地利用图叠加,发现90%以上的侵蚀发生在耕地和草地,见表4。1975~1986年间,耕地面积略有增加,草地面积减少,导致了土壤侵蚀加剧;1997~2006年间,耕地减少了132.25 km²,草地增加了141.12 km²,侵蚀状况明显好转。这主要是由于从1998年起,流域开始实施退耕还林还草工程,对缓解水土流失起到了一定作用。1975~2006年间,耕地侵蚀百分比呈先增加后减少趋势;草地的侵蚀百分比呈先减少后增加趋势,但1975~1997年变化幅度都较小,保持在60%左右,到2006年明显增长,达到70%以上;林地侵蚀百分比有所增加,沙地随面积的变化其侵蚀百分比呈先增加后减小的趋势。

3.4 土壤侵蚀时空格局与侵蚀因子相关分析

将中度以上土壤侵蚀部分从土壤侵蚀图中提取出来,再与地形图进行叠加,发现土壤侵蚀与地形有较好的垂直对应关系。中度以上的侵蚀多分布在海拔1070~1300 m处,而且对应于18°~35°的陡坡地。根据对中度以上的土壤侵蚀图和降雨侵蚀力图的叠加分析,1975年和2006年中

度以上侵蚀对应的降雨侵蚀力值为900~1150,1986年和1997年中度以上侵蚀集中在1300~1800,单位均为MJ·m·hm⁻²·h⁻¹,水土流失严重区多对应于高降雨侵蚀力值分布区。

表4 孤山川流域各土地利用面积和侵蚀百分比

Tab. 4 Land Area and Erosion Percentage for Each Purpose in the Gushanchuan Basin

利用类型	1975		1986		1997		2006	
	/km ²	/%						
耕地	441.93	34.74	463.95	36.47	402.21	31.62	269.95	21.22
林地	12.65	0.99	17.59	1.38	90.47	7.11	92.77	7.29
草地	794.64	62.47	739.68	58.16	756.80	59.5	897.92	70.59
居民地	0	0	0.22	0.02	1.12	0.09	7.27	0.57
水体	1.06	0.08	0.48	0.04	0.33	0.03	0.33	0.03
沙地	21.72	1.71	49.98	3.93	21.08	1.66	3.76	0.30

4 结 语

本文将浅沟侵蚀因子和风蚀强度等级引入CSLE模型,结合遥感和GIS技术,在计算各侵蚀因子的基础上完成了研究区1975、1986、1997、2006年土壤侵蚀评价和时空动态分析。

1) 近30 a来,研究区土壤侵蚀的变化分为两个阶段。第一阶段是1975~1986年,土壤侵蚀强度加剧,侵蚀面积增加了138.13 km²,流域东南部增加最多;第二阶段为1986~2006年,土壤侵蚀强度减弱,土壤侵蚀的面积减少了163.09 km²,土壤侵蚀减少分布在整个流域,但以东部地区更明显,表明退耕还林后流域的土壤侵蚀得到了较好的控制。

2) 流域土壤侵蚀主要发生在耕地和林地。1975~1986年,耕地面积略有增加,草地面积减少,导致了土壤侵蚀加剧;1997~2006年,耕地减少了132.25 km²,草地增加了141.12 km²,侵蚀状况明显好转。

3) 土壤侵蚀与地形、降雨侵蚀力有较好的对应关系。中度以上的土壤侵蚀主要发生在高程1070 m~1300 m处,对应于18°~35°的陡坡地;1975年和2006年,中度以上侵蚀集中在900~1150,1986年和1997年集中在1300~1800,单位均为MJ·m·hm⁻²·h⁻¹,土壤侵蚀严重区多对应于高降雨侵蚀力值分布区。

本研究须从三个方面进一步完善:一是土壤侵蚀评价不确定性分析,应鉴别评价过程的不确定性来源和传递规律,以便改进模型;二是土壤侵蚀模型的验证,需要补充治理措施数据并考虑泥沙输移比;三是2006年以来的土壤侵蚀评价。

参 考 文 献

- [1] Xu Jianhua, Li Xuemei, Zhang Peide, et al. Delimitation of Coarse Sediment and Study on Overlap of Coarse Sediment and Sediment Abundant Areas in the Middle Yellow River Basin[J]. *Journal of Sediment Research*, 1998, 4:36-46 (徐建华,李雪梅,张培德,等. 黄河粗泥沙界限与中游多沙粗沙区区域研究[J]. 泥沙研究, 1998, 4:36-46)
- [2] Liu Jiahong, Wang Guangqian, Li Tiejian, et al. Calculation of Soil Erosion in Coarse Sandy Region Based on the Digital Watershed Model[J]. *Science in China (Series E)*, 2007, 37 (3):446-454(刘家宏,王光谦,李铁键,等. 基于数字流域模型的多沙粗沙区侵蚀产沙计算[J]. 中国科学: E 辑, 2007, 37 (3):446-454)
- [3] Nusser S M, Kienzler J M, Fuller W A. Geostatistical Estimation Data for the 1997 National Resources Inventory [M]. Washington DC: USDA Natural Resources Conservation Service, 1999
- [4] Lu Hua, Gallant J, Prosser I P, et al. Prediction of Sheet and Rill Erosion over the Australian Continent, Incorporating Monthly Soil Loss Distribution [M]. Canberra: CSIRO Land and Water Technical Report, 2001
- [5] Le B Y, Montier C, Jamagne M, et al. Mapping Erosion Risk for Cultivated Soil in France[J]. *Catena*, 2002, 46 (2-3): 207-220
- [6] Kirkby M A R, McMahon M D, Shao J, et al. Medial Soil Erosion Models for Global Change[J]. *Geomorphology*, 1998, 24(1): 35-49
- [7] De J S M, Paracchini M L, Bertolo F, et al. Regional Assessment of Soil Erosion Using the Distributed Model Semmed and Remotely Sensed Data [J]. *Catena*, 1999, 37(34): 291-308
- [8] Liu B Y, Zhang K L, Xie Y. An Empirical Soil Loss Equation[C]. The 12th ISCO, Beijing, 2002
- [9] Jiang Zhongshan, Zheng Fenli, Wu Min. Prediction Model of Water Erosion on Hillslopes[J]. *Journal of Sediment Research*, 2005, 4:1-6(江忠善,郑粉莉,武敏. 中国坡面水蚀预报模型研究[J]. 泥沙研究, 2005, 4:1-6)
- [10] Jiang Zhongshan, Zheng Fenli. Prediction Model of Water Erosion on Hillslopes[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18 (1): 66-69(江忠善,郑粉莉. 坡面水蚀预报模型研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18 (1):66-69)
- [11] Ministry of Water Resources of People's Republic of China. Gradation and Classification Standard of Soil Erosion(SL 190-2007)[S]. Beijing:China Water Power Press, 2007(中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准(SL 190-2007)[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2007)
- [12] Yu B, Rosewell C J. A Robust Estimator of the R-factor for Universal Soil Loss Equation[J]. *Transactions of the SAAE*, 1996, 39(2): 559-561
- [13] Williams J R, Jones C A, Dyke P T. The EPIC-model and Its Application[C]. ICRISAT-IBSS-NAT-SYSS Symp, Hyderabad, India, 1984
- [14] Van R D, Maichle R W, Hickey R J. Computing the LS Factor for the Revised Universal Soil Loss Equation Through Array-based Slope Processing of Digital Elevation Data Using a C++ Executable[J]. *Computers & Geosciences*, 2004, 30(9-10): 1 043-1 053
- [15] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope Gradient Effects on Soil Loss for Steep Slopes[J]. *Transactions of the SAAE*, 1994, 37 (6):1 835-1 840
- [16] Liu B Y, Nearing M A, Shi P J, et al. Slope Length Effects on Soil Loss for Steep Slopes[J]. *Soil Society of American Journal*, 2000, 64:1 759-1 763
- [17] Zhang Hongming, Yang Qinke, Liu Qingrui, et al. Regional Slope Length and Slope Steepness Factor Extraction Algorithm Based on GIS[J]. *Computer Engineering*, 2010, 36(9): 246-248(张宏鸣,杨勤科,刘晴蕊,等. 基于 GIS 的区域 LS 因子算法及实现[J]. 计算机工程, 2010, 36(9):246-248)
- [18] Wittich K L, Hansing O. Area Averaged Vegetative Cover Fraction Estimated from Satellite Data [J]. *International Journal of Biometeorology*, 1995, 38:209-215
- [19] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains; A Guide for Soil and Water Conservation Planning[R]. Washington DC: USDA Agriculture Handbook, 1978
- [20] Zhang Y, Liu B Y, Zhang Q C, et al. Effect of Different Vegetation Types on Soil Erosion by Water [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45 (10):1 204-1 209
- [21] Xie Hongxia, Li Rui, Yang Qinke, et al. Effect of Returning Farmland to Forest (Pasture) and Changes of Precipitation on Soil Erosion in the Yanhe Basin[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(2): 569-576(谢红霞,李锐,杨勤科,等. 退耕还林(草)和降雨变化对延河流域土壤侵蚀影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42 (2):569-576)
- [22] Liu Baoyuan. Report of the Development of Predicting Model of Soil Erosion in Loess Plateau of North-Western China[R]. Beijing:Monitoring Cen-

ter of Soil and Water Conservation of Water Resource Ministry, 2006(刘宝元. 西北黄土高原区土

壤侵蚀预报模型开发项目研究成果报告[R]. 北京: 水利部水土保持监测中心, 2006)

Spatial-Temporal Dynamic Features in Soil Erosion of the Gushanchuan Basin in the Past Three Decades

YAO Zhihong¹ YANG Qinke² WU Yanli³ LI Rui⁴

1 College of Resources and Environment, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China

2 College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China

3 Resources and Environment Investigation Center of Henan Provincial Coalfield Geology Bureau, Zhengzhou 450003, China

4 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China

Abstract: The Gushanchuan basin was chosen as a study area which is prone to serious soil erosion in the Loess Plateau to investigate the requirements of soil and water conservation benefit assessment and soil loss control. We quantitatively studied the spatial-temporal dynamic features of the soil erosion of the area over the past three decades by applying soil science, remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS). We obtained three main results. Firstly, variations of the soil erosion in the study area in the past three decades (1975 to 2006) were divided into two stages. The first stage was between 1975 and 1986, when soil erosion intensified and eroded area increased by 138.13 km², particularly in the southeast part of the basin. The second stage was between 1986 and 2006, when soil erosion weakened. The eroded area decreased by 163.09 km², and soil erosion decreased in the entire basin, particularly in the east. Secondly, soil erosion above the medium degree mainly occurred in the elevation ranging from 1 070 m to 1 300 m, with the slope ranging from 18° to 35° correspondingly. The precipitation in 1975 and 2006 was scanty, and the erosion above the medium degree have a rainfall erosivity ranging from 900 MJ · mm · hm⁻² · h⁻¹ to 1 150 MJ · mm · hm⁻² · h⁻¹. The erosion above the medium degree in 1986 and 1997 have a rainfall erosivity ranging from 1 300 MJ · mm · hm⁻² · h⁻¹ and 1 800 MJ · mm · hm⁻² · h⁻¹. The area with serious soil erosion corresponded to the area distributed with high rainfall erosivity. Thirdly, the soil erosion in the basin predominantly occurred in farmlands and woodlands. During the period between 1975 and 2006, the farmland area decreased, and the woodland and pasture areas increased, and the soil erosion weakened as a whole. The development of the land use of the basin was in a positive way, and soil erosion showed an obvious weakening trend. These results would provide references for understanding soil erosion and macro decision making for controlling soil erosion in the first Loess Hill and Gully area sub-region.

Key words: Gushanchuan basin; soil erosion; temporal and spatial dynamic features; GIS

First author: YAO Zhihong, PhD, specializes in water conservation and applications of GIS. E-mail: yaozhihong@ncwu.edu.cn

Corresponding author: YANG Qinke, PhD, professor. E-mail: qkyang@126.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41071188; the Special Funds for Scientific Research on Public Causes of Ministry of Water Resources: Application Research and Coupling Technology of Multi-scale Spatial Soil Erosion Model, No. 201201081-02; the High-Level Talents Initial Science Foundation Sponsored by North China University of Water Resources and Electric Power, No. 201244.