

长江上游小流域土壤侵蚀动态模拟与分析

潘竟虎^{①②}, 冯兆东^②, 魏宏庆^③

(①西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; ②兰州大学资源环境学院, 兰州 730000;

③甘肃省水利厅 水土保持局, 兰州 730000)

【摘要】以长江上游甘肃省尚沟流域为研究区, 在遥感影像和 GIS 空间分析技术支撑下, 根据 USLE 因子算法生成各因子栅格图, 借助地图代数运算, 估算了尚沟流域 1998 年和 2004 年的土壤侵蚀量, 并对 2004 年土壤侵蚀与其环境背景因子进行叠加和空间统计分析。在此基础上, 构建了与 GIS 软件平台集成的地理元胞自动机, 模拟了该流域 2004 年、2010 年和 2020 年土壤侵蚀空间演化情形。结果表明: 研究区平均侵蚀量从 1998 年的 6598.1t/km² 下降到 2004 年的 5923.3t/km², 侵蚀面积净减少 172.3hm², 输沙量减少 9.15×10⁴t。1300~1400m 的海拔高程带、25~35°坡度带、南坡和旱耕地是发生水土流失的主要区域; 经模拟, 2010 年总侵蚀面积为 93.49km², 侵蚀总量 73.15×10⁴t。侵蚀模数为 5126 t/km², 土壤侵蚀状况总体上将有所减缓。

【关键词】土壤侵蚀; 地理元胞自动机; GIS; USLE

【中图分类号】S157; X833

【文献标识码】A

【文章编号】1009-2307(2009)02-0093-04

DOI: 10.3771/j.issn.1009-2307.2009.02.031

1 引言

土壤侵蚀及其导致的水土流失已成为我国的头号生态环境问题。小流域是水土流失发生和发展的最基本单元, 以小流域为单元进行土壤流失量的定量评价研究, 是探索土壤流失规律和评价流域治理效益的重要途径和内容。传统的土壤流失量调查方法耗时多、周期长, 往往不能完全确定特定小流域及其不同地理单元的侵蚀量, 更无法适时定量监测水土保持效果。GIS 与通用土壤流失方程 (USLE) 结合进行流域土壤侵蚀量的预测和估算, 由于运用栅格数据分析功能, 可预测出每个栅格的土壤侵蚀量, 便于管理者找出较为严重的土壤侵蚀区, 从而针对性地提出最佳管理措施, 有效地提高了土壤侵蚀量的预测效率和结果的显示度^[1]。但这种方法的缺陷是 USLE 各因子指标值的确定需要大量实测数据, 给模型的推广带来一定的困难; 其次该模型属于稳态模型, 仅仅能够做一些事后的预报。土壤侵蚀发展是复杂的非线性动力学过程, 现有的 GIS 和线性数学模型很难对此进行模拟。地理元胞自动机 (Geo-CA) 是一种具有时空计算特征的动力学模型, 通过一些十分简单的局部转换规则, 来模拟十分复杂的空间结构, 非常适宜于模拟土壤侵蚀的空间演化。

嘉陵江是长江上游含沙量最大的支流, 本研究以嘉陵江的典型小流域尚沟为例, 采用遥感和 GIS 技术结合 USLE 对其土壤侵蚀状况进行了定量计算, 并建立了基于 Geo-CA 的土壤侵蚀模型, 模拟了流域土壤侵蚀发生发展的时空动态规律, 以期为制定长江上游水土流失综合治理、水土保持与生态环境建设规划提供有益的参考。

2 研究区概况

尚沟流域位于甘肃文县南部, 北纬 32°45'~32°54' 与东经 104°48'~105°55' 之间, 面积 135.55km², 属嘉陵江水系白龙江下游, 由 6 条小流域组成。地貌类型属秦岭南山区, 地形破碎, 沟壑密度 2.8km/km², 水土流失严重。气候属暖温带大陆性季风气候, 年平均气温 15.5°C, 年均降雨量 800mm。土壤类型主要为棕壤土、褐色土和山地草原土。人口 4.47 万, 农民人均纯收入 970 元 (2003 年)。

3 土壤侵蚀估算

3.1 数据源

遥感影像为 1998 年和 2004 年的多光谱 Landsat5 TM (空间分辨率 30m) 及全色 SPOT2 HRV (空间分辨率 10m), 时相均为 7~8 月。辅助数据包括气象、土壤、土壤侵蚀实测数据、1:5 万地形图和 DEM 等。图像预处理在 Enlas8.6 支持下完成, 几何精纠正采用地形图选取控制点法, 二次多项式和双线性内插重采样, RMS 误差控制在 1 个像元内。将 TM 多光谱图像与 SPOT 全色图像采用主成分替换法融合, 对融合后的影像采用 4、3、2 波段作 RGB 假彩色合成, 根据野外调查建立的判读标志, 采用人机交互目视判读法在 ArcView 中数字化, 提取两时期土地利用信息。解译前后曾三次到现场 GPS 采点实地调查, 根据误差矩阵计算, 两期土地利用总体判读精度为 90.2% 和 89.6%。

3.2 土壤侵蚀模型

土壤流失量的计算采用 USLE, 其模型表达式为

$$A = RKLSCP \quad (1)$$

式中: A 为年土壤流失量, 单位 t/km²·a; R 为降雨和径流因子; K 为土壤可蚀性因子; L 和 S 分别为坡长、坡度因子; C 为植被与经营管理因子; P 为水土保持措施因子, 均为无量纲单位。t 为美国习惯用的单位转换为国际通用单位的常数, 其值为 224.2。模型参数的计算和赋值详见表 1。其中, R 采用 Wischmeier 提出的方法^[2], 根据研究区范围内 1980~2004 年降雨资料, 计算得 R 为 85.3。由于研究区面积较小, 以常数的形式代入模型。LS 参考牟金泽在天水地区观测试验推导出的算法^[3], 从研究区 DEM 中分析提取。K 因子利用数字化的研究区土壤图, 借助侵蚀和生产力影响模型 EPIC 计算^[4]。C 因子通过 TM 影像提取 NDVI 根据 NDVI 计算植被覆盖度, 再根据 C 因子与植被覆盖度间的关系生成。

作者简介:潘竟虎 (1974-), 男, 甘肃嘉峪关人, 讲师, 博士生, 从事环境遥感与空间分析研究, 发表论文 28 篇。
Email: panjh_mwnt@nwnu.edu.cn

收稿日期:2007-09-20

基金项目:国家自然科学基金项目 (40671061); 甘肃省自然科学基金项目 (3ZS051-A25-009)



表 1 研究区土壤侵蚀模型参数计算表

参数	计算方法	说明	
降雨侵蚀力因子	$R = \sum_{i=1}^{12} \left(1.2157 \times 10^4 \left(1.5 k_p^2 - 0.8188 \right) \right)$	P_i 为各月平均降雨量 (mm), P 为年降雨量 (mm)	
地形因子 (坡度和坡长)	$LS = 1.02 \left(\frac{\lambda}{20} \right)^{0.2} \left(\frac{\alpha}{5.07} \right)^{1.3}$	λ 为坡长, α 为坡度	
土壤可蚀性因子	$K = \left(0.2 + 0.3 \exp \left[0.0256 SAN (1 - SIL/100) \right] \right) \left(\frac{SIL}{CLA + SIL} \right)^{0.3}$	SAN、SIL、CLA 和 C 是土壤砂砾、粉粒、粘粒和有机碳含量 (%)， $SN_1 = 1 - SAN/100$	
植被覆盖因子	$C = \begin{cases} 1, & c = 0 \\ 0.6508 - 0.3436 \lg \alpha, & 0 < c < 78.3 \\ 0, & c > 78.3 \end{cases}$	c 为植被盖度	
水土保持措施因子	草地、灌丛 林地 居民地、水体 沙地、裸土地 耕地	0.3 0.2 0 1 0.75	坡面水平沟、鱼鳞坑等水土保持措施 无水保措施 顺坡耕作 等高耕作 $< 5^\circ$ $5 \sim 10^\circ$ $> 10^\circ$
		0.3 0.5 0.6	

根据 ULSE 模型各因子的取值, 生成各因子栅格图层, 栅格大小为 10×10 m, 统一到同一投影下。利用 GIS 软件的栅格地图代数功能, 计算每个栅格的土壤流失量, 并生成土壤侵蚀量图。根据中国土壤侵蚀强度等级划分标准 (SL190-96), 利用土壤侵蚀量图生成研究区土壤侵蚀强度等级图 (图 1)。

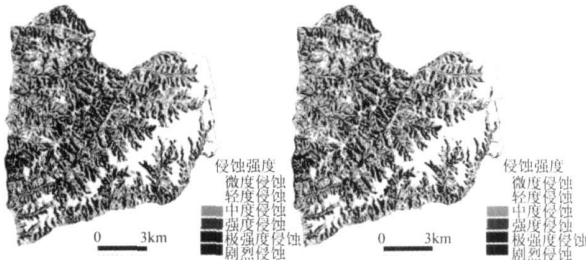


图 1 研究区土壤侵蚀分级图 (左: 1998 年; 右: 2004 年)

4 土壤侵蚀时空动态模拟

4.1 Geo-CA 模型简介

元胞自动机 (Cellular Automata) 模型由 5 个基本要素构成: 元胞空间、元胞及其状态、邻域、状态转换规则和离散的时间; 在某一时刻一个元胞只能有一种状态, 而且该状态取自一个有限集合; 邻域是元胞周围按一定形状划定的细胞集合, 影响中心元胞下一个时刻的状态; 元胞转换规则表述被模拟过程的逻辑关系, 决定空间变化的结果。CA 作为一种具有时空计算特征的离散动力学模型, 不仅可以用来模拟和分析一般的复杂系统, 对于模拟具有时空特征的地理复杂系统则更具优势。Geo-CA 是 CA 模型的扩展, 它将地理实体的空间和时间特性统一在模型中, 通过划分研究对象的元胞空间和初始状态及状态转换规则, 可以自行迭代运算, 模拟地理环境演化过程。

4.2 Geo-CA 的构建

4.2.1 元胞模型

1) 将土壤侵蚀的元胞、状态、邻居分别做如下设定①元胞空间: 是与数字地面高程、遥感影像分辨率等相配合的离散网格, 即元胞大小定义为 $10m \times 10m$; ②元胞状态: 根据土壤侵蚀等级划分标准, 元胞状态值按相应的等级取 1 至 6。将利用修正的土壤侵蚀模型计算出的 1998 年土壤侵蚀图作为元胞的初始状态; ③邻居定义: 采用标准的 Moore

邻居类型, 即每个元胞以 8 个相邻元胞作为其邻居元胞, 半径为 1。

2) 转换规则

①新生元胞的类型: 对于产生新元胞所代表的侵蚀等级概率, 根据已有研究^[5]结合专家意见, 规定产生母体等级的概率为 0.1, 产生元胞的侵蚀等级和母体等级之差绝对值为 1 的概率为 0.1, 相差为 +2 和 -2 的概率都为 0.2, 相差绝对值大于 2 的概率为 0.4, 各邻居对它影响向 l 方向元胞发展的概率 P_k 为^[6]: $P_k(l) = \frac{RS_k(l)}{\sum_{m=1}^8 RS_k(m)}$, 其中 $RS_k(l)$

是向 l 方向元胞发展的速度, $RS_k(l) = f(R, K, LS, C, P)$, m 代表 8 个邻居元胞的序号;

②新生元胞位置确定: 针对不同类型的单元, 设定其产生新单元的最大距离为 d_{max} , 那么新生单元到母体的距离 d_k 则可取区间 $[1, d_{max}]$ 的任意整数, 则相应的 d_k 的概率可用如下线性衰减函数计算^[7]:

$$\Pi(d_k) = 2(d_{max}^3/d_k + 1) [d_{max}(d_{max} + 1)]$$

4.2.2 元胞自动机工作流程

在 GIS 平台上, 利用其宏语言编程, 在 GRID 环境下, 输入 1998 年尚沟流域土壤侵蚀强度分级数据, 以此为初始元胞状态进行空间演化动态模拟, 最后将相邻元胞状态相同的元胞进行合并。集成方式属于一种松散型的集成, 能直接利用 GIS 中的空间数据, 无需进行任何格式的转换, 并可直接调用 GIS 现成空间分析功能。CA 模型的运行由宏语言驱动, 桌面 GIS 系统负责完成数据的处理、模型运行监视和模型结果显示等功能。以 1d 为 1 个元胞时间, 演化结果如图 2 所示。

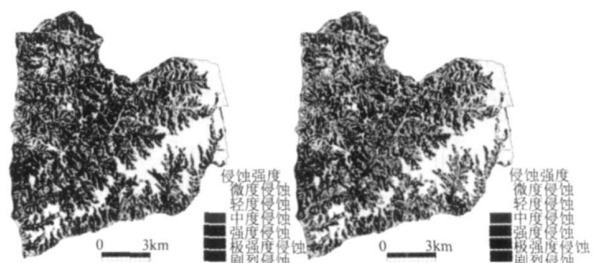


图 2 土壤侵蚀演变趋势模拟图 (左: 2004 年; 右: 2010 年)

5 结果分析

5.1 土壤侵蚀现状与变化

由 USLE 模型计算的尚沟流域土壤侵蚀强度等级及变化见表 2。2004 年尚沟流域侵蚀面积 (轻度侵蚀以上) 97.71 km², 占流域总面积的 72%, 其中中度以上的侵蚀面积占总侵蚀面积的 59.5%。2004 年总侵蚀量达 80.29 × 10⁴ t, 极强度和剧烈侵蚀面积仅占流域总面积的 22%, 但对侵蚀量的贡献却达到了 65%。从总体变化来看, 6 年来研究区平均侵蚀量从 1998 年的 6598.1 t/km² 下降到 2004 年的 5923.3 t/km²; 侵蚀面积净减少 172.3 hm², 减少了 1.8%; 输沙量减少 9.15 × 10⁴ t, 减少了 11.4%。就面积而言, 强度、极强度和剧烈侵蚀类型面积均有不同程度的减少; 就侵蚀量而言, 各类型均有所减少, 以强度、极强度和剧烈侵蚀最明显, 表明本区侵蚀强度较大的地区治理成效比较显著。因该流域缺乏水沙站实测数据, 检验结果无法落实到点上, 根据文县水保局提供的数据, 2004 年流域平均侵蚀量为 5596 t/km², 仅就平均侵蚀量而言, 估算精度达到 94.4%。

表 2 尚沟流域各土壤侵蚀类型面积、侵蚀量及变化

侵蚀景观类别	侵蚀模数 (t km ⁻² a ⁻¹)	1998 年		2004 年		变化	
		面积 (hm ²)	侵蚀量 (10 ⁴ t a ⁻¹)	面积 (hm ²)	侵蚀量 (10 ⁴ t a ⁻¹)	面积 (hm ²)	侵蚀量 (10 ⁴ t a ⁻¹)
微度侵蚀	<10	3783.32	1.42	3955.69	1.04	172.37	-0.38
轻度侵蚀	10~25	1700.53	2.89	1767.22	2.34	66.69	-0.55
中度侵蚀	25~50	2457.64	9.33	2549.27	7.57	91.63	-1.76
强度侵蚀	50~100	2595.52	19.48	2573.11	16.88	-22.41	-2.60
极强度侵蚀	100~200	2046.60	29.70	2004.24	27.63	-42.36	-2.07
剧烈侵蚀	>200	971.56	26.62	705.64	24.83	-265.92	-1.79
合计		13555.17	89.44	13555.17	80.29	0	-9.15

5.2 土壤侵蚀与其背景的空间分析

1) 土壤侵蚀与土地利用类型的关系

将研究区土地利用类型图和 2004 年土壤侵蚀图进行叠加, 得到不同土地利用类型的土壤侵蚀情况 (表 3)。土壤侵蚀程度大小排序依次为: 未利用地 > 旱耕地 > 建设用地 > 草地 > 林地 > 水域。旱耕地侵蚀量最大, 其侵蚀量占流域侵蚀总量的 79%。

表 3 不同土地利用类型的土壤侵蚀量

类型	面积 (hm ²)	平均侵蚀量 (t km ⁻² a ⁻¹)	侵蚀总量 (10 ⁴ t a ⁻¹)
旱耕地	7411.23	8552.81	63.39
草地	3967.59	2057.56	8.16
水域	34.96	192.86	0.01
林地	1306.30	370.71	0.48
建设用地	261.91	3509.2	0.92
未利用地	573.18	12784.76	7.33

表 4 不同坡向的土壤侵蚀量

坡向	面积 (hm ²)	平均侵蚀量 (t km ⁻² a ⁻¹)	侵蚀总量 (10 ⁴ t a ⁻¹)
平地	1554.88	927.85	1.39
北	2063.88	5439.61	3.27
东北	2294.94	5654.45	3.25
东	1496.19	6295.47	9.81
东南	1340.75	8093.97	13.51
南	1248.06	7407.98	10.86
西南	1356.69	6687.09	11.67
西	2013.25	6264.01	13.57
西北	1726.31	5696.14	12.97

2) 土壤侵蚀与坡向的关系

从研究区 DEM 生成坡向图, 将坡向图和 2004 年土壤

侵蚀量图进行叠加, 获得不同坡向的土壤侵蚀情况 (表 4)。南面的坡向土壤侵蚀状况要比北面坡向的区域严重, 微度和轻度侵蚀主要分布在西北坡和北坡, 中度以上侵蚀面积主要分布在东南坡和南坡, 这是由于朝南的坡向光照条件相对较好, 适合植物的生长和人类的生存, 而人类活动也相对频繁。东南坡和西坡土壤侵蚀量最大, 合计占流域侵蚀总量的 33.7%。

3) 土壤侵蚀与坡度的关系

利用研究区 DEM 生成坡度等级图, 将其与土壤侵蚀分布图进行叠加, 得到不同坡度带的土壤侵蚀情况 (表 5)。侵蚀程度与坡度呈显著正相关, 35° 以上区域平均侵蚀量是 0°~5° 坡度带平均侵蚀量的 20.3 倍。25°~35° 和 15°~25° 坡度带土壤侵蚀量较大, 二者占流域土壤侵蚀总量的 68%, 这些地带是水土流失防治及治理的重点区域。

4) 土壤侵蚀与海拔的关系

利用 GIS 软件的重编码功能将研究区 DEM 分成 5 个海拔高程带, 并与 2004 年土壤侵蚀图进行叠加分析, 得到研究区不同海拔高程上的土壤侵蚀分布状况 (表 6)。1200m 以下高程带侵蚀最为剧烈, 而 1200~1300m 高程带上侵蚀最弱。1300m~1400m 高程带土壤侵蚀量最大, 占流域总侵蚀量的 34%, 是预防土壤侵蚀及防治的重点地带, 流域水土保持主要是针对这些地类进行退耕还林草、植被恢复和调节坡面径流 [8]。

表 5 不同坡度等级的土壤侵蚀量

坡度	面积 (hm ²)	平均侵蚀量 (t km ⁻² a ⁻¹)	侵蚀总量 (10 ⁴ t a ⁻¹)
0~5	1894.63	691.09	1.31
5~15	2475.31	2532.62	6.27
15~25	4250.55	5721.14	24.32
25~35	3638.19	8289.97	30.16
>35	1296.50	14066.09	18.24

表 6 不同海拔高度带上的土壤侵蚀量

海拔 (m)	面积 (hm ²)	平均侵蚀量 (t km ⁻² a ⁻¹)	侵蚀总量 (10 ⁴ t a ⁻¹)
<1200	1020.5	7712.87	7.87
1200~1300	4927.42	5145.58	25.35
1300~1400	4670.31	5867.5	27.4
1400~1500	2672.19	6803.05	18.18
>1500	264.75	5591.79	1.48

5.3 模拟结果与精度分析

表 7 列出了由 USLE 估算出的 2004 年土壤侵蚀面积分类结果, 由 CA 模型模拟出的 2004 年相应结果, 以及由甘肃省水保局“长治”项目办提供的 2004 年调查结果。可看出, 就各类型侵蚀面积以及所占比例而言, 三者吻合度较好。表 7 中 2004 年误差是各侵蚀类型栅格量的 CA 模拟值、USLE 估算值与调查值的误差绝对值, 除极强度侵蚀误差较大外, 其余误差均在 12% 以内, 说明模型的估算和模拟效果可以接受。因 2004 年调查数据只有数值, 无法落实到空间, 故本文将 2004 年 CA 模拟图与 USLE 估算图进行了逐点 (栅格) 比较, 总体匹配精度为 81.3%。

表 7 2004 年尚沟流域土壤侵蚀模拟值与估计值比较

侵蚀强度	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	极强度侵蚀	剧烈侵蚀
USLE 估算值 (hm ²)	3955.69	1767.22	2549.27	2573.11	2004.24	705.64
CA 模拟值 (hm ²)	4026.63	1846.58	2319.34	2497.25	2144.55	720.82
调查值 (hm ²)	4091	1673	2503	2814	1822	652
USLE 估算误差 (%)	3.31	5.63	1.85	8.56	10.00	8.23
CA 模拟误差 (%)	1.57	10.38	7.34	11.26	17.70	10.56

据 CA 模拟的 2010 年土壤侵蚀状况表现为极强度侵蚀面积急剧下降增加, 剧烈侵蚀面积轻微减少, 其余侵蚀类型面积均有不同程度的增加; 轻度以上侵蚀面积 93.49km² (其中轻度 2378hm², 中度 2428hm², 强度 2221hm², 极强度 1621hm², 剧烈 699hm²), 比 2004 年减少 422hm²。2010 年侵蚀总量 73.15×10⁴t 比 2004 年减少 7×10⁴t 平均侵蚀量将降至 5126 t/km²。说明在现行的水土保持政策、技术条件下, 水土保持预计会取得比较明显的效果。在此基础上, 利用 CA 模拟了 2020 年的土壤侵蚀状况 (图 3), 将图 3 与 2004 年小流域土壤侵蚀级别图对比, 可以看出尚沟流域的土壤侵蚀状况得到了很大缓解, 关键源区的土壤侵蚀程度持续降低, 尤以中部坡耕地密集的丘陵沟壑地带最为显著。

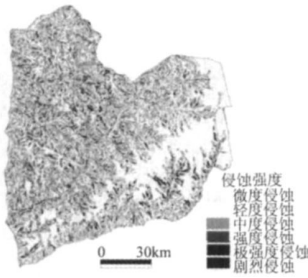


图 3 2020 年土壤侵蚀演变趋势模拟图

6 结束语

GIS、USLE 与地理元胞自动机结合, 能够较好地集成 GIS 的空间分析功能、可视化表达和超强的建模能力与 CA 模型对时空和动态的模拟分析优点, 模拟结果的精度也在可以接受的范围内。土壤侵蚀演化模型还处于理论尝试阶段, 尚存在许多问题需进一步深入研究, 如如何评价和降低矢量栅格格式转换对土壤侵蚀变化情景预测的影响, 如何确定合适的空间分辨率, 如何将三者动态紧密集成等问

题, 这些将直接影响到估计和模拟结果的真实性与准确性。

参考文献

- [1] 洪华生, 杨远, 黄金良. 基于 GIS 和 USLE 的下庄小流域土壤侵蚀量预测研究 [J]. 厦门大学学报, 2005, 44(5): 675-679.
- [2] Wischemier W H, et al. A soil erodibility Nomograph for farm land and construction sites [J]. Soil and Water Conservation, 1971, 26: 189-193.
- [3] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究 [J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.
- [4] 刘宝元, 张科利, 焦菊英. 土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用 [J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 345-350.
- [5] 马力, 杨新民, 吴照柏, 等. 不同土地利用模式下土壤侵蚀空间演化模拟 [J]. 水土保持通报, 2003, 23(1).
- [6] 张永兴, 欧敏, 熊有胜, 等. 基于 GeoCA 和 GIS 的土壤侵蚀空间演化模拟 [J]. 西南农业大学学报, 2005, 27(4): 427-431.
- [7] 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [8] 潘竟虎, 董晓峰. 基于 GIS 与 QuickBird 影像的小流域土壤侵蚀定量评价 [J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(2): 1-5.
- [9] 贺奋琴, 等. 基于遥感和 GIS 的水土流失因子信息提取与分级定标研究 [J]. 测绘科学, 2006, 31(4).

Simulation and analysis of soil erosion in small watershed in the upstream of Yangtze River

Abstract This paper presented a model to simulate and forecast soil erosion changes with geographic cellular automata. Shanggou watershed sub watershed of Jialingjiang river watershed was chosen as the typical study area. GIS software and remote sensing images were used to establish the spatial database. Based on the GIS' s function of raster spatial analysis the watershed was divided into uniform grids and USLE was integrated with GIS software to predicted soil erosion in the Shanggou sub watershed after selecting reasonable USLE factor values. Then the soil erosion was estimated and the relationshi Pamong soil erosion and its background was revealed. Finally the geographic cellular automata model was constructed to simulate spatial evolution process during 2004~2020. Results show that the amount of soil erosion in 2004 decreased remarkably than in 1998 and the erosion area according to the soil erosion classification also changed apparently. Soil erosion was serious respectively from 25 to 35 of slope degree south aspect elevation area from 1300 to 1400 meters where was the particular area of soil and water loss prevention. As far as land use was concerned soil losses were highest in dry cultivated land and those in grass land were second. It was estimated that the total eroded area and loss of study area will be reduced to 93.49km² and 73.15×10⁴t respectively in 2010.

Key words soil erosion; geographic cellular automata; GIS; USLE

PAN Jing-hu^{①②}, FENG Zhao-dong^②, WEI Hong-qing^③ (① College of Geographic and Environmental Science Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China; ② College of Resource and Environment Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; ③ Bureau of Soil and Water Conservation Water Conservancy Department of Gansu province Lanzhou 730000, China)

(上接第 120 页)

Isoline tracing technique based on search-circle

Abstract Isoline Tracing is the key in the course of drawing isoline map. Good tracing arithmetic may draw more precise than before at the same time it may economize quantities of time. The article puts forward a new tracing arithmetic-search-circle method based on traditional arithmetic and introduces particularly the tracing steps. The search-circle method can implement quickly part-scan and can heighten largely tracing efficiency. What is more the method has good reliability.

Key words search-circle; isolines; tracing arithmetic

CHANG Hui CHAI Hua-bin ZOU You-feng (School of Surveying & Land Information Engineering Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)