

基于GIS的秦巴山区土壤侵蚀空间特征分析

——以陕西省宁强县为例

兰 敏

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了给秦巴山区宁强县的水土保持与土壤侵蚀防治提供科学依据,本研究利用遥感影像解译和GIS技术,得到研究区土地利用现状、植被覆盖和数字高程模型(DEM)等数据,并利用USLE模型计算研究区的土壤侵蚀模数。结果表明,研究区的土壤侵蚀面积轻度占47.015%,中度占33.36%,强度占12.53%。土壤侵蚀严重的地区主要分布在研究区的东北部,并且也是灌溉水田、水浇地、旱地和菜地分布的区域;本研究还运用GIS和遥感技术,选用通用土壤流失方程(USLE)成功估算了宁强县的侵蚀模数及各种侵蚀等级面积,研究结果与二调结果相符合。

关键词: GIS; USLE; 土壤侵蚀; 秦巴山区; 宁强县

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)02-0196-05

在长期的土壤侵蚀研究中,通用土壤流失方程(USLE)发挥了重要的作用^[1-3],随着地理信息系统(GIS)技术不断发展,运用GIS技术结合USLE定量评估区域土壤侵蚀已成为有效手段^[4]。20世纪80年代末以来,中国科学院南京土壤研究所卜兆宏先生共主持了4个国家自然科学基金项目,系统地研究了USLE在中国的应用,取得了很有价值的系列成果^[5-6],这些研究为我国区域水土流失的预报、规划与治理提供了科学依据。因此,利用3S技术快速调查和监测区域水土流失基本状况,实现水土流失信息化非常有意义。

目前的研究主要集中在黄土高原地区,而对于秦巴山区的研究较少^[7-13],这势必造成了人们对该区土壤侵蚀特征及现状认识的偏差,因此,加强该区的研究,特别是结合新技术、新方法是很有意义的。宁强县位于秦巴山区,土地资源非常复杂,尤其是2008年汶川地震以来,对该区土壤流失可能产生了一些影响。基于此,本研究以陕西省宁强县为例,在GIS技术支持下,选用通用土壤流失方程(USLE)计算该区的土壤侵蚀模数,分析土壤侵蚀的空间分布特征,为该地区水土流失防治提供科学依据。

1 研究区概况

宁强县是陕西省汉中市下辖的一个县,位于陕西省西南角、汉中西部,介于东经105°21'10"~106°35'18"、北纬32°37'06"~33°12'42"之间,地界三省。

辖26个乡镇,8个社区委员会,1 723个自然村。总人口26.48万人,百分之九十都是农业人口。该区地处我国南北过渡的中间地带,特殊的地理位置决定了其气候的独特性:西部属于北亚热带季风气候区,东部为北亚热带与暖温带过渡地域;气候温和,雨量充沛,四季分明。据2005年统计资料,全区年平均气温在13.5℃~15℃,年降水量655~1 100 mm,年日照时数1 395~1 729 h。宁强是汉江的发源地,有“三千里汉江第一城”之美誉,水资源资源极为丰富,其中汉江为长江的一级支流,丹江为汉江的一级支流。

2 材料与方法

2.1 数据源

采用2008年8—10月的2.5 m分辨率SPOT影像作为遥感数据源;地形图数据源采用国家地理数据库1:10 000地形图;选择全国第二次土地调查成果《2006年宁强县土壤侵蚀模数图》(5米分辨率)作为参考。

2.2 数据预处理

本次试验通过辐射校正,几何精校正及投影转换等空间操作,将典型区域内连续性的不同幅面的影像进行拼合,得到典型区域范围内的全幅遥感影像。并对数据源进行预处理,以获得USLE模型实现所需的数据。通过遥感影像的解译得到当地的土地利用现状和植被覆盖数据;用GIS处理研究区地

收稿日期:2011-10-16

基金项目:陕西省典型县区土壤侵蚀调查研究(K332021006)

作者简介:兰 敏(1981—),女,陕西黄陵人,硕士研究生,研究方向为GIS应用。E-mail:lanmin0528@163.com。

形数据得到 DEM,并在此基础上提取坡度、覆盖度、土地利用等因子通过叠加运算得到研究区土壤侵蚀模数,并进行分析说明。

2.3 研究方法

选用 Wischmeier 提出的土壤流失方程 (USLE)^[14],计算公式为:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \tag{1}$$

式中,A 为单位面积年平均土壤流失量[t/(hm²·a)];R 为降雨侵蚀力因子[(MJ·mm)/(hm²·h·a)];K 为土壤可蚀性因子[t/(hm²·h)/(hm²·MJ·mm)];LS 为坡长、坡度因子;C 为植被覆盖因子;P 为水土保持因子,这三个因子均为无量纲。方程的优点是形式非常简单所需参数容易获得。

运用 ArcGIS 的空间数据管理和分析功能,建立

宁强县的数字高程模型(DEM)、土地利用现状图、土壤图、植被覆盖度分布等矢量图,对其属性数据进行相应的数据编码操作,并将其栅格化(Grid 格式),求各因子值,再根据 UELE 的形式,将各因子相乘,获得宁强县土壤侵蚀模数并经过重分类得到土壤侵蚀强度等级图。

2.3.1 水土保持措施因子 P 估算 水土保持措施因子 P 是土壤流失量与顺坡种植时的土壤流失量的比值。本研究参考胡续礼、步青松、杨胜天^[15-17]等的研究结果,并结合研究区土地利用现状,确定了研究区不同土地利用的 P 值(见表 1),把 P 因子值赋予相应的土地利用类型,得到了研究区 P 因子图层。

表 1 不同土地利用类型 P 值
Table 1 P value of different land use types

项目 Item	土地利用类型 Land use type						
	耕地 Farmland	林地 Forest	灌木林地 Bush forest	草地 Grassland	居民地 Habitation area	未利用地 Unused land	水体 Water
P	0.35	1.00	0.20	0.20	1.00	1.00	0.00

2.3.2 土壤可蚀性 K 因子估算 土壤可蚀性 K 值的大小表示土壤被冲蚀的难易程度,是影响土壤流失量的内在因素,它也是定量研究土壤侵蚀的基础。K 值的计算采用 Wischmeier 建立的土壤可蚀性因子 K 与土壤性质之间的关系式,根据实验区域情况对 K 值进行估算。

$$100K = 2.1 \times 10^{-4} \times M^{1.14} \times (12 - a) + 3.25 \times (b - 2) + 2.5 \times (c - 3) \tag{2}$$

式中,M 表示颗粒分析参数;a 表示有机质含量;b 表示土壤分类中土壤结构的级别,c 表示土壤坡面渗透级别^[18]。研究区不同土地利用类型的 K 值见表 2。

表 2 K 值估算赋值表
Table 2 Attached values of K value estimation

土地利用方式 Land use type	地面覆盖状况 Ground coverage	K 值变化 K value variation
林地 Forest	郁闭度 0.4,覆盖度 0.5,林下有杂草 Canopy density: 0.4, coverage: 0.5, with weeds	0.120 ~ 0.250
草地 Grassland	覆盖度 0.70 以上,主要有两耳草、茅草 Coverage: over 0.7, mainly with Paspalum conjugatum and couch grass	0.171 ~ 0.345
水田 Water	郁闭度 0.7,覆盖度 0.8 Canopy density: 0.7, coverage: 0.8	0.039 ~ 0.246
针叶林 Coniferous forest	郁闭度 0.3,覆盖度 0.5,林下有茅草 Canopy density: 0.3, coverage: 0.5, with couch grass	0.120 ~ 0.200
阔叶林 Broadleaf forest	郁闭度 0.6,覆盖度 0.6,林下植被发育好 Canopy density: 0.6, coverage: 0.6, with good vegetation	0.039 ~ 0.237
针阔混交林 Mixed forest	郁闭度 0.5,覆盖度 0.6,林下有茅草 Canopy density: 0.5, coverage: 0.6, with couch grass	0.080 ~ 0.162
旱地 Dryland	A 层部分流失 Part of A layer lost	0.223 ~ 0.431
裸地 Bare land	A、B 层流失几乎殆尽,有少量苔藓 Nearly whole A and B layers lost, with little moss	0.039 ~ 0.040

2.3.3 经营管理因子 C 计算方法 C 因子反映的是所有有关植被覆盖和变化对土壤侵蚀的综合作用,其值大小取决于具体的作物覆盖、轮作顺序及管理措施的综合作用等,即 C 值的取值主要与植被覆盖和土地利用类型有关^[19]。当地表完全裸露时(如

裸地)C 值取 1.0;地面完全植被覆盖时(包括水域)C 值为 0。依此,耕地:0.1;林地:0.006;草地:0.01;居民地和交通过地:0.20;未利用地(主要是裸地):1.0;水域:0.000001。

2.3.4 坡度坡长因子 LS 利用宁强县 1:1 万的地

形图生成 5 m 分辨率数字高程模型(DEM),运用 ArcGIS 软件的水文分析模块计算坡长因子,空间计算功能计算坡度因子,步骤见图 1。

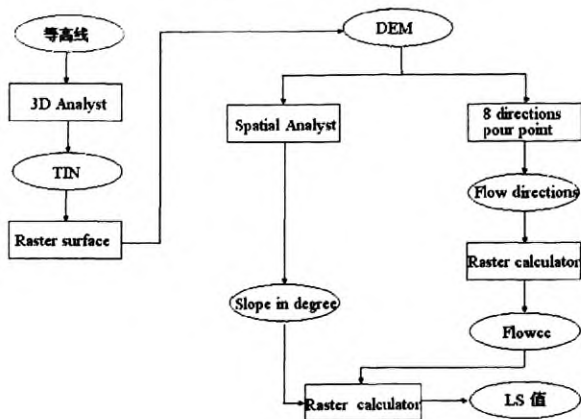


图 1 LS 因子计算技术路线图

Fig.1 Roadmap of LS factor computing technology

坡长因子的计算公式:

$$L = (\lambda/22.1)^m \quad (3)$$

式中, L 为坡长因子, 22.1 m 为标准小区坡长; λ 为坡长; m 为坡长指数, 根据坡度不同取不同的值。当坡度值 $\theta \leq 1^\circ$ 时, $m = 0.2$; 当 $1^\circ < \theta \leq 3^\circ$ 时, $m = 0.3$; 当 $3^\circ < \theta \leq 5^\circ$ 时, $m = 0.4$; 当 $\theta > 5^\circ$ 时, $m = 0.5$ 。

坡度因子计算公式为:

$$S = \begin{cases} 10.8\sin\theta + 0.03 & (\theta < 5^\circ) \\ 16.8\sin\theta - 0.05 & (5^\circ \leq \theta < 14^\circ) \\ 21.91\sin\theta - 0.96 & (\theta \geq 14^\circ) \end{cases} \quad (4)$$

式中, S 为坡度因子; θ 为坡度值($^\circ$)。

坡长因子(L)和坡度因子(S)相乘可得到坡度坡长因子(LS)的数值。

2.3.5 降雨径流因子 R 计算方法 降雨侵蚀力因子反映了降雨引起土壤分离和搬运的动力大小,即降雨产生土壤侵蚀的潜在能力。Wischmeier 算法用降雨动能和最大 30 min 雨强的乘积度量降雨侵蚀力^[20-21],但是需要以次降雨资料为主。在许多国家和地区,长时间序列的降雨过程资料难以获得,且处理和计算繁琐,限制了应用。选用基于日降雨资料的年降雨侵蚀力算法^[22],选择侵蚀降雨标准为 12 mm,计算公式如公式 5。

$$R_x = \alpha \sum_{y=1}^k (D_y)^\beta \quad (5)$$

式中, R_x 表示第 x 年的降雨侵蚀力 [$\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$]; k 表示半月时段内的天数; D_y 表示半月内第 y 日侵蚀性降雨量; α 、 β 是参数模型,其中 $\beta =$

$$0.8363 + 18.144 P_{d12}^{-1} + 24.455 P_{y12}^{-1}, \alpha = 21.586 \beta^{7.1891}; P_{d12} \text{ 表示一年内侵蚀性降雨日雨量; } P_{y12} \text{ 表示侵蚀性降雨年总量的多年平均值。}$$

宁强县降雨空间差异性不明显,统一采用县气象站降雨数据计算,算得宁强的降雨侵蚀力为 $6\,552.48542 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。

2.3.6 土壤侵蚀量计算 将上述各因子图层转化为同一坐标系像元大小为 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的栅格图,在 ArcGIS 软件支持下,将各因子图层相乘,得到研究区土壤侵蚀空间分布图。根据水利部颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》SL190-2007 侵蚀强度标准确定土壤侵蚀分级指标,将其分为微度、轻度、中度、强度、极强度和剧烈侵蚀 6 个等级,并生成研究区土壤侵蚀强度等级图表。

3 结果与分析

3.1 土地利用现状特征

以宁强县 1:10 000 地形图参考,通过对宁强县遥感影像的增强、影像校准,应用监督与非监督分类相结合的方法,结合土地利用类型分类标准和外业实地调绘成果,将宁强县土地利用现状解译为 7 大一级类(耕地、林地、草地、居民工矿、交通用地、水域、未利用地)和 22 个二级分类(见图 2)。

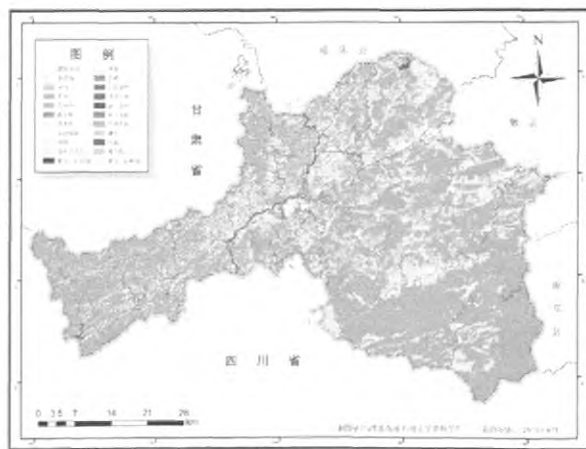


图 2 宁强县土地利用现状图

Fig.2 Map of land use status in Ningqiang

从图 2 可知,宁强县共有耕地面积 4.824 万 hm^2 ,其中:灌溉水田 0.413 万 hm^2 ,水浇地 0.213 万 hm^2 ,旱地 4.037 万 hm^2 ,菜地 0.16 万 hm^2 。林地面积 21.187 万 hm^2 ,其中有林地 14.92 万 hm^2 ,灌木林 3.647 万 hm^2 ,疏林地 0.747 万 hm^2 ,天然林地 0.5 万 hm^2 。居民地、工矿用地等其他土地利用类型为 3.02 万 hm^2 。

3.2 土壤侵蚀空间特征分析

通过与二调结果的比较,基于 USLE 方程计算得到 2008 年宁强县土壤侵蚀模数表更为精确。宁强县土壤侵蚀以轻度、中度、强度为主,土壤侵蚀严重的地区主要分布在东北部,并且也是灌溉水田、水浇地、旱地和菜地分布的区域。轻度侵蚀,中度侵蚀和强度侵蚀占了很大的比重。侵蚀比较严重的主要集中在大安县、代家坝镇、阳平关镇、毛坝河镇、高寨子镇和二郎坝乡,是土壤侵蚀防治的重点区域。

从土壤侵蚀量统计信息如表 3 所示。可以看出,宁强县的轻度土壤侵蚀等级占侵蚀总面积 47.015%,中度土壤侵蚀等级占侵蚀总面积 33.36%,强度、极强度、剧烈土壤侵蚀面积占总面积的 19.5%,其中以轻度和中度所占比例最大,为 80.38%,微度侵蚀可强度侵蚀各占比例为 0.129%和 5.606%,极强度侵蚀虽然土壤侵蚀模数较高,但是面积很小,所占比例仅为 1.361%。因此轻度、中度土壤侵蚀是宁强县的重点侵蚀级别,其整治、治理对宁强县土壤侵蚀总量的缩减具有重要意义。整体上看,宁强县土壤侵蚀情况属于轻到中度侵蚀,占 70%以上,且受侵蚀面积较大。

表 3 USLE 方法计算数据结果
Table 3 Calculated data with USLE method

等级 Grade	分类标准(平均侵蚀模数) Grading criterion (Mean erosion modulus)	面积(m ²) Area	比率(%) Rate
微度 Slight	< 200	4.19	0.129
轻度 Mild	200 ~ 2500	1526.11	47.015
中度 Moderate	2500 ~ 5000	1082.87	33.360
强度 Stong	5000 ~ 8000	406.72	12.530
极强度 Very strong	8000 ~ 15000	181.97	5.606
剧烈 Serious	> 15000	44.18	1.361

4 结 语

- 1) 运用 GIS 和遥感技术,选用通用土壤流失方程(USLE)成功估算了宁强县的侵蚀模数及各种侵蚀等级面积。比较结果表明,这项研究的结果,在过去的监测方案是符合彼此。边际差异可以解释不同的降雨强度和农业耕作和种植的变化。因此,可以预料到的结果反映了现实世界的情况。
- 2) 基于 GIS 技术和 USLE 模型得出了宁强县土壤侵蚀模数,为该地区水土保持与土壤侵蚀防治提供科学依据。在这项研究中的关键步骤是数据源预处理和 USLE 模型因素的正确实施。
- 3) 通过本次研究,发现利用 GIS 技术的土壤侵

蚀遥感监测室定量和快速的,表示的图斑详细,为土壤的动态监测提供了科学、实用和便捷的技术方法。

参 考 文 献:

[1] 缪驰远,何丙辉,陈晓燕. 水蚀模型 USLE 与 WEPP 在紫色土水蚀预测中的应用对比研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 13-16.

[2] 张雪松,郝芳华,程红光,等. 亚流域划分对分布式水文模型模拟结果的影响[J]. 水利学报, 2004, (7): 119-123.

[3] 王盛萍,张志强,唐 寅,等. MIKE-SHE 与 MUSLE 耦合模拟小流域侵蚀产沙空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 92-98.

[4] 陈永宝,黄传伟,陈志伟,等. USLE 在我国的应用和发展[J]. 中国水土保持, 2003, (10): 11-14.

[5] 卜兆宏,唐万龙. 降雨侵蚀力(R)最佳算法及其应用的研究成果简介[J]. 中国水土保持, 1999, (6): 16-17.

[6] 卜兆宏,唐万龙,杨林章,等. 水土流失定量遥感方法新进展及其在太湖流域的应用[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 1-9.

[7] Yang D S, Kanae T Oki. Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes[J]. Hydrological Processes, 2003, 17(14): 2913-2928.

[8] Fu B W, Zhao L Chen. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: A case study in the Loess Plateau of China[J]. Land Degradation & Development, 2005, 16(1): 73-85.

[9] 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的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 569-576.

[10] 汪邦稳,杨勤科,刘志红,等. 基于 DEM 和 GIS 的修正通用土壤流失方程地形因子值的提取[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(2): 18-23.

[11] 周自翔,任志远. GIS 支持下的土地利用与土壤侵蚀强度相关性研究——以陕北黄土高原为例[J]. 生态学杂志, 2006, 25(6): 629-634.

[12] 吴 艳,张晓萍,陈凤娟,等. 陕北典型流域退耕后土壤侵蚀及空间分布初步调查研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 29-33.

[13] 李 斌,张金屯. 基于 GIS 的不同温度带的黄土高原土壤侵蚀研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(21): 328-331.

[14] Wischmeier, W, C. Johnson, B. Cross. A soil erodibility nomograph for farm land and construction sites[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1971, 26: 189-193.

[15] 胡续礼. 水土流失定量监测中降雨侵蚀力因子的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.

[16] 步青松,杨胜天,郝芳华,等. 水土流失影响下全国吸附态氮磷输移负荷初步估算[C]//全国水文学学术讨论会, 2004.

[17] 杨胜天,程红光,步青松,等. 全国土壤侵蚀量估算及其在吸附态氮磷流失量匡算中的应用[J]. 环境科学学报, 2006, 26(3): 366-374.

[18] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Revised universal soil loss equation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991, 1: 30-33.

- [19] 胥彦玲,李怀恩,倪永明,等.基于 USLE 的黑河流域非点源污染定量研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(3):138-142.
- [20] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Trans. Am. Geophys. Union, 1958, 39(3): 285-291.
- [21] Wischmeier W H. A Rainfall Erosion Index for a Universal Soilloss Equation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1959, 23(3): 246-249.
- [22] 章文波,付金生.不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J].资源科学,2003,25(1):35-41.

Analysis of spatial characteristics of soil erosion in Qinba mountainous area of Shaanxi based on GIS

LAN Min

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Characteristics of soil erosion of Ningqiang County in Qinba mountainous area were studied to provide scientific basis for soil and water conservation and soil erosion control in this area. Data about land use types and vegetation coverage were obtained by interpreting remote sensing image, and DEM was obtained by processing topographic map data with GIS technology, and then soil erosion modulus was calculated through plugging these data into USLE model. The domination soil erosion types in study area were mild (47.015%), moderate (33.36%) and strong (12.53%), and serious soil erosion area was mainly distributed in the northeast of the study area which mainly included irrigated paddy field, irrigated field, dryland and vegetable field. Soil erosion modulus and all erosion area of each erosion grade in Ningqiang County were successively estimated through USLE model combined with GIS and remote sense. The results of this study corresponded to the past monitoring programs according to the comparison with second adjustment results.

Keywords: GIS; USLE; soil erosion; Qinba mountainous area; Ningqiang County

(上接第 195 页)

Spatial – temporal change of landscape pattern and LUCC in the typical desert region of West China

——Taking Yuli County as an example

XUAN Yong, FAN Yi-da, WANG Xing-ling, WANG Zhi-qiang

(1. National Disaster Reduction Center of China, Ministry of Civil Affairs, Beijing 100124, China;

2. Satellite Application Center for Disaster Reduction, Ministry of Civil Affairs, Beijing 100124, China)

Abstract: Based on GIS and remote sensing images, the changes of land use/coverage and landscape pattern of Yuli County from 1995—2000 were analyzed. The results showed that the areas of farmland and residential land increased obviously while the areas of forest, grassland and unused land decreased. The analysis of landscape index showed that due to the disturbance of human activities, landscape fragmentation index increased while land diversity index decreased. The structure and function of ecosystem became increasingly simpler and weaker. The study also found that human activities, such as urbanization, population quality and mode of economic development were dominant factors for these changes, and the natural factors like precipitation, wind speed, soil texture and vegetation coverage are also driving factors.

Keywords: LUCC; landscape; spatial-temporal change; Yuli County