

# 基于 GIS 的延安市土壤侵蚀强度等级评价<sup>\*</sup>

史彩宁<sup>1</sup>, 常庆瑞<sup>1</sup>, 王春梅<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:**以延安市为例, 应用 GIS 技术依据水利部土壤侵蚀分类分级标准进行土壤侵蚀强度等级评价。分析了延安市 2006 年土壤侵蚀强度等级及各縣市侵蚀差异性, 定量研究坡度衰减对土壤侵蚀评价结果的影响并将土壤侵蚀强度评价结果与 2002 年土壤侵蚀强度进行比对分析。结果表明: 2006 年延安市各县市中吴起县土壤侵蚀最为强烈, 黄龙县最弱; 经过坡度变换, 延安市约 68% 的地区侵蚀增强; 与 2002 年相比, 2006 年延安市轻度侵蚀和剧烈侵蚀面积减小, 其它各侵蚀强度等级面积增大。

**关键词:**土壤侵蚀; GIS; 坡度变换; 综合侵蚀强度指数; 延安市

中图分类号: S157. 1; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)03-0028-04

## Evaluation on Soil Erosion Intensity Grade in Yan' an Area Based on GIS

SHI Cai-ning<sup>1</sup>, CHANG Qing-rui<sup>1</sup>, WANG Chun-mei<sup>2</sup>

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

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** According to MWR (Minister of Water Resources) standard of soil erosion grading and based on GIS, this article evaluated soil erosion intensity grade, taking Yan' an as an example, and analyzed the differences of soil erosion intensity grades among different counties of Yan' an in 2006. Gradient reduction and its influence on soil erosion evaluation results were studied quantitatively, and the result is compared with soil erosion intensity in 2002. Among all the counties, Wuqi county had the most intensive soil erosion, while Huanglong county is the least. Compared with soil erosion in 2002, there was a rise in soil erosion intensity in nearly 68% area of Yan' an after gradient transform was taken into account. There was a decrease in area in weak and severe magnitude erosion whereas an increase in area in the other soil erosion grades in Yan' an.

**Key words:** soil Erosion; GIS; slope scaling; comprehensive erosion index; Yan' an

土壤侵蚀是我国经济社会发展的重要限制因子, 区域尺度上土壤侵蚀评价是土壤侵蚀研究的重要方面, 可直接为政府提供决策支持, 因此近年来受到了研究者的高度重视<sup>[1-3]</sup>。国际上关于大区域土壤侵蚀调查制图的研究, 可以归纳为 4 种方法, 包括: 常规地理制图, 坡面土壤侵蚀模型与 GIS 技术结合的评价制图, 区域土壤侵蚀模型方法和抽样调查方法<sup>[1,4]</sup>。土壤侵蚀分类分级标准(S 190-2007)是众多土壤侵蚀专家多年实践的总结, 可用于评价区域土壤侵蚀强度等级, 具有所需参数较少且

参数易获得, 操作简单等优点。建国以来, 应用该方法我国已经分别于 20 世纪 80 年代中期和 90 年代后期进行了全国土壤侵蚀普查, 并于 1990 年和 2002 年发布了详细的水土保持公告<sup>[5]</sup>。

延安市是我国水土流失较严重的地区之一, 对该地区土壤侵蚀的评价具有较强的代表性。本文基于土壤侵蚀分类分级标准, 以延安市为研究区, 针对现行方法中较大地区土壤侵蚀自动化计算、坡度的衰减而导致的对评价结果的影响等问题进行研究, 以促进我国区域土壤侵蚀评价方法的完善。

\* 收稿日期: 2010-03-16

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“区域水土流失与趋势分析”(2007CB407203)

作者简介: 史彩宁(1977-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 遥感与 GIS 技术应用。E-mail: jenny scn79@163.com

通信作者: 常庆瑞(1959-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 资源环境与 3S 技术应用。E-mail: chqr@nwsuaf.edu.cn

# 1 研究区概况及研究方法

## 1.1 研究区概况

延安市位于陕西省北部黄土高原丘陵沟壑区, 介于北纬 35°21′ - 37°31′, 东经 107°41′ - 110°31′。北接榆林市, 南连咸阳市、铜川市、渭南市, 东隔黄河与山西省临汾市、吕梁市相望, 西依子午岭与甘肃省庆阳市为邻。延河、北洛河流经延安市。全市总面积 3.7 万 km<sup>2</sup>。延安市属内陆干旱半干旱气候, 四季分明, 日照充足, 昼夜温差大, 年均无霜期 170 d, 年均气温 7.7~ 10.6℃, 年均日照数 2 300~ 2 700 h, 年均降水量 500 mm 左右, 海拔 359~ 1 820 m, 平

均海拔 1 239 m。黄绵土 占总土地面积的 85% 以上。南部植被覆盖较北部好, 从南到北依次为森林带、森林草原带和草原带。延安市水土流失严重, 以延安市为研究区进行土壤侵蚀强度等级的研究具有典型性和代表性。

## 1.2 基础数据及处理方法

根据水利部颁布的土壤侵蚀分类分级标准<sup>[6]</sup>进行土壤侵蚀评价所需要的参数包括坡度、土地利用情况、植被盖度, 主要基础数据如表 1。数据使用统一的投影与坐标系统, 投影为 Albers 投影, 第一、第二标准纬线分别为 25°N 和 47°N, 中央经线为 105°E。

表 1 基础数据

	数据类型	来源	分辨率/ 比例尺	用途
主要数据	土地利用图( 2006 年)	2006 年 TM 解译	30 m	判断土地利用方式
	延安市数字高程模型	用 1: 250000、1: 50000 地形图和 ANUDEM 插值而成	50 m ( 整个研究区), 10 m ( 部分地区)	计算坡度, 进行坡度尺度变换
	SPOT VEG 数据	网站下载	1000 m	植被覆盖度计算
辅助数据	延安市行政区域图	-	1: 1000000	进行统计分析
	2002 年土壤侵蚀普查数据	黄河水土保持与生态环境监测中心	1: 100000	进行对比分析
	延安市各县区 2006 年逐月降雨侵蚀力	陕西省农业遥感中心		辅助进行植被覆盖度计算

(1) 植被覆盖度提取。本研究中采用汛期各月( 5- 9 月) 植被覆盖度与降雨侵蚀力加权平均的方法计算汛期各月平均植被覆盖度, 将计算结果用于年侵蚀强度等级评价。利用 SPOT VEG 数据( NDVI 值范围拉伸到 0~ 255) 提取植被盖度。

$$\bar{f}_{5-9} = \frac{\sum_{i=5}^9 f_i \times R_i}{\sum_{i=5}^9 R_i} \tag{1}$$

$$f_i = \frac{D_i - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \times 100 \tag{2}$$

式中:  $\bar{f}_{5-9}$  ——5—9 月的平均植被覆盖度;  $f_i$  ——第  $i$  月植被覆盖度;  $R_i$  ——第  $i$  月的降雨侵蚀力;  $D_i$  ——第  $i$  月 NDVI 值, 由第  $i$  月逐旬 NDVI 算数平均得到;  $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$  ——为研究区内 NDVI 的最小、最大值。通过实地采点结合遥感图像典型地类( 沙地、高覆盖林地等) 的采样, 确定  $D_{\min}$  与  $D_{\max}$  分别为 54 和 230.8。

(2) 坡度的计算。用 1: 50 000 和 1: 250 000 地形图, 根据文献[ 7] 的参数设置, 建立分辨率为 10 m 和 50 m 的水文地貌关系正确 DEM。用 50 m 分辨率 DEM 求取全省坡度表面, 根据文献[ 8] 的方法

以典型地区 10 m 分辨率 DEM 为参照建立坡度变换模型进行坡度的尺度变换, 使之更加真实地反映地形的起伏。

## 1.3 土壤侵蚀综合评价

本研究根据水利部颁布的土壤侵蚀分类分级标准<sup>[6]</sup>, 基于表 2, 编写 AM 程序在 ArcGIS 下利用坡度、土地利用图和植被覆盖度完成评价土壤侵蚀强度。

## 1.4 土壤侵蚀特征分析方法

统计分析。统计延安市各侵蚀强度等级所占比例并与 2002 年普查结果进行对比。分析延安市内各县区不同土壤侵蚀强度等级的分布情况, 同时构建综合侵蚀强度指数  $I$  对比分析各县区侵蚀强度的大小。

$$I = \frac{\sum_{C=11}^{16} S \times C \times 10^{2 \times (C-11)}}{10^{10}} \tag{3}$$

式中:  $I$  ——综合侵蚀强度指数;  $S$  ——县区内内各侵蚀强度等级面积与各县区总面积比;  $C$  ——侵蚀强度等级( 从微弱侵蚀到剧烈侵蚀分别为 11, 12, 13, 14, 15, 16)。  $I$  值综合考虑了县区内各水蚀强度等级的综合状况, 可用来比较各县区之间侵蚀强度大小。

表 2 水蚀(面侵)评价标准

地类	覆盖度/ %	地面坡度				
		5° ~ 8°	8° ~ 15°	15° ~ 25°	25° ~ 35°	> 35°
非耕地	60~ 75	12 轻度	12 轻度	12 轻度	13 中度	13 中度
	45~ 60	12 轻度	12 轻度	13 中度	14 强烈	14 强烈
	30~ 45	12 轻度	13 中度	13 中度	14 强烈	15 极强烈
	< 30	13 中度	13 中度	14 强烈	15 极强烈	16 剧烈
坡耕地		12 轻度	13 中度	14 强烈	15 极强烈	16 剧烈

坡度变换对侵蚀强度影响分析。在以往的土壤侵蚀评价中, 直接利用中低分辨率 DEM 提取坡度, 或者利用中小比例尺地形图编制坡度图, 此时坡度已发生了明显的衰减, 并对土壤侵蚀评价结果产生明显影响<sup>[9]</sup>。本研究对坡度进行了尺度变换<sup>[8]</sup>, 并通过求坡度变换前后侵蚀强度等级差值分析坡度尺度变换对侵蚀评价结果的影响。

与已有调查及其结果的对比分析: 从制图学差异, 评价过程与工作方法的差异, 评价结果差异三个方面对比本研究与第三次全国土壤侵蚀普查工作。

2 结果与分析

2.1 延安市土壤侵蚀强度统计分析

由附图 7 和表 3 可以看出, 延安市各县区土壤侵蚀强度表现出较大的差异, 总体来讲, 延安市 2006 年土壤侵蚀强度以中度和微度为主, 分别占

27.6% 和 26.5%, 其次为强烈侵蚀和极强烈侵蚀, 分别占 19.5% 和 15.8%, 剧烈侵蚀占的比重较小, 仅占 4.2%。但不同县区各侵蚀强度等级分布差异较大。其中黄龙县、黄陵县、富县三县微度侵蚀所占面积达到 60% 以上, 而吴起县、子长县、延川县、延长县和安塞县微度侵蚀所占面积不到 3%; 黄龙县、富县和黄陵县强烈及强烈以上侵蚀所占面积比例总和不超过 5%, 其中黄龙县仅为 1.8%, 而吴起县、安塞县、延川县和子长县这一面积比例达到 70% 以上, 吴起县最高, 达到 85.3%。延安市各县区 I 值差异也较大。延安市平均 I 值为 0.7; 吴起县 I 值最大, 为 2.22, 其次为志丹县和安塞县, 均在 1.0 以上; 而黄龙县、富县、黄陵县和洛川县 I 值较小, 均不大于 0.1。根据 I 值可以看出, 延安市各县区吴起县、志丹县和安塞县土壤侵蚀较强, 黄龙县、富县、黄陵县和洛川县土壤侵蚀较弱。

表 3 各县区土壤侵蚀等级及 I 值

行政区划	总面积/ km <sup>2</sup>	各侵蚀强度等级所占面积比例/ %						I 值
		微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	
延安市	36938.1	26.5	6.4	27.6	19.5	15.8	4.2	0.70
子长	2398.6	1.7	1.6	26.5	38.2	26.9	5.2	0.87
吴旗	3798.4	1.4	0.6	12.7	33.0	38.8	13.5	2.22
安塞	2940.5	2.1	2.3	23.8	35.4	29.6	6.8	1.13
志丹	3775.2	5.3	3.0	25.4	31.8	27.6	6.9	1.15
延川	1967.3	2.1	1.3	24.9	37.9	28.2	5.6	0.94
宝塔区	3536.7	20.0	8.4	41.8	16.3	10.4	3.1	0.51
延长	2374.9	2.1	4.0	39.3	29.3	19.2	6.0	0.99
甘泉	2305.6	27.0	16.2	43.9	6.1	5.2	1.6	0.26
宜川	2933.1	43.9	5.7	34.0	10.9	4.2	1.3	0.21
富县	4095.6	60.3	11.7	24.4	1.6	1.6	0.3	0.05
洛川	1804.4	25.4	23.1	39.5	8.0	3.3	0.6	0.10
黄龙	2742.9	79.7	3.9	14.7	0.9	0.8	0.1	0.02
黄陵	2265.1	70.8	7.0	17.2	3.0	1.7	0.3	0.05

2.2 坡度衰减与变换对侵蚀强度评价的影响

统计延安市坡度变换前后各级侵蚀强度面积统计结果(图 1, 只考虑水蚀部分) 表明坡度变换后评价结果比坡度变换前评价结果土壤侵蚀强度增强, 微度和轻度侵蚀所占面积明显减小, 分别减少 17.8% 和 14.9%, 中度侵蚀、强烈侵蚀、极强烈侵蚀

和剧烈侵蚀面积增加, 分别增加 2.8%、11.8%、14.0% 和 4.1%。坡度变换后, 只有占全省面积 0.2% 的地区侵蚀减弱; 31.8% 的地区侵蚀强度等级不变; 其余部分坡度变换后侵蚀有所加剧, 其中侵蚀强度等级增大 1 个和 2 个等级的面积分别占全省的 39.8% 和 21.7% (图 2)。

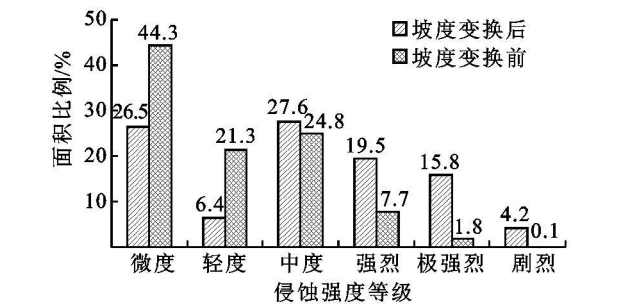


图 1 坡度变换前后各土壤侵蚀强度等级面积比例

2.3 与第三次全国土壤侵蚀普查结果的对比

土壤侵蚀学和专题制图学分析对比。在自然界中,土壤侵蚀的影响因素,如地形、植被盖度等,大都是逐渐变化的,很少有明显的突变,因此评价结果也应该是连续变化,不应该出现成片、均一性图斑(附图 8),因而本研究方法更加符合土壤侵蚀学和地图学的规律;

工作程序和作业方式比对:本研究中土壤侵蚀强度计算是通过编写 AM 程序的方式,在 ArcIN-FO 下完成的,其过程可重复、可查证,而以往土壤侵蚀普查中的手工作业方法对于操作过程很难得到客观检查;本研究以 50 m×50 m 的栅格为单元按照水利部标准由程序控制自动进行运算,相比手工作业也更加客观,很大程度上消除了由于主观因素导致的误差。

评价结果分析对比。本研究结果与第三次全国土壤侵蚀普查结果相比,延安市各土壤侵蚀强度等级所占面积百分比的变化为:微度、中度、强烈、极强烈侵蚀分别增加 1%、1.8%、4.3%和 1.9%,轻度、剧烈侵蚀减小 4.7%和 4.4%(表 4)。2002 年和 2006 年延安市均以中度侵蚀占最大比重,其次为微度侵蚀。2002–2006 年,剧烈侵蚀面积减少,这表明 4 a 间对侵蚀较强烈的地区的综合治理取得了成效,但同时应该看到一些侵蚀较弱的地区土壤侵蚀有加强的趋势,这表现在轻度侵蚀面积的减小而中度、强烈、极强烈侵蚀的增加。

表 4 各土壤侵蚀强度等级所占面积比例/%		
强度等级	本研究结果	第三次全国普查结果
微度侵蚀	26.5	25.5
轻度侵蚀	6.4	11.1
中度侵蚀	27.6	25.8
强烈侵蚀	19.5	15.2
极强烈侵蚀	15.8	13.9
剧烈侵蚀	4.2	8.6

3 结论

(1)延安市 2006 年土壤侵蚀强度呈较大差异

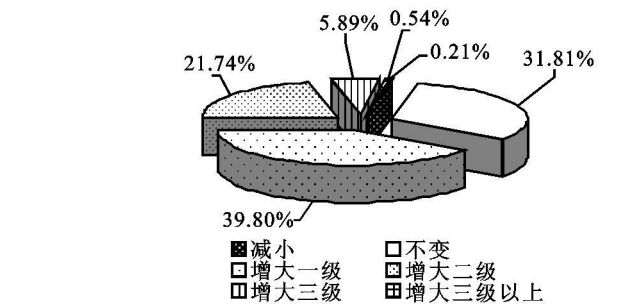


图 2 坡度变换后各土壤侵蚀强度等级变化所占面积百分比,综合侵蚀强度指数 I 可较好地反映区域或流域综合侵蚀强度的大小。

(2)坡度尺度对土壤侵蚀强度评价结果影响很大,在延安市,坡度变换后约占总面积 68% 的地区侵蚀强度呈现不同程度的增大。

(3)2002–2006 年,延安市土壤侵蚀综合治理收到一定成果,剧烈侵蚀面积减少,但需进一步加强土壤侵蚀较弱但侵蚀容易加剧的地区的水土保持工作。

(4)基于土壤侵蚀分类分级标准结合 GIS 进行土壤侵蚀强度等级的自动化计算是可行的,结果客观、可重复,避免了人为操作的误差。

参考文献:

[1] 杨勤科,李锐,曹明明.区域土壤侵蚀定量研究的国内外进展[J].地球科学进展,2006,21(9):31-38.

[2] 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[J].水土保持学报,2004,18(1):2-6.

[3] 王礼先,张有实,李锐,等.关于我国水土保持科学技术的重点研究领域[J].中国水土保持科学,2005,3(1):1-6.

[4] 杨勤科,李锐,刘咏梅.区域土壤侵蚀普查方法的初步讨论[J].中国水土保持科学,2008,6(3):1-7.

[5] 中华人民共和国水利部.全国水土流失公告[R].2002.

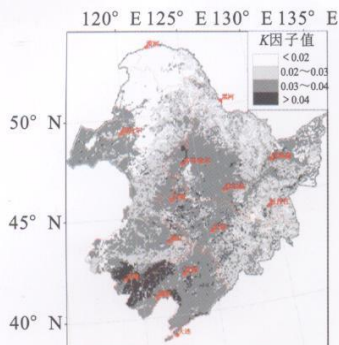
[6] 中华人民共和国水利部.土壤侵蚀分类分级标准[S].190-2007,2008.

[7] 杨勤科,师维娟,McVicar Tim R,等.水文地貌关系正确 DEM 的建立方法[J].中国水土保持科学,2007,5(4):1-6.

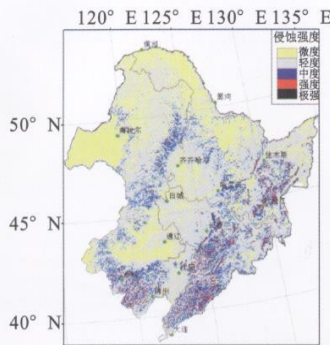
[8] Yang Q K, Jupp D, i R, et al. Re-scaling low er resolution slope by histogram matching[C]//Zhou Q, ees B G, Tang G A. Advances in Digital Terrain Analysis (ecture Notes in Geoinformation and Cartograph). Berlin Heidelberg:Springer, 2008:193-210

[9] 梁音,田刚,潘贤章,等.不同监测方法对土壤侵蚀监测结果的影响:以江西省潦水河流域为例[J].中国水土保持科学,2008,6(3):18-23.

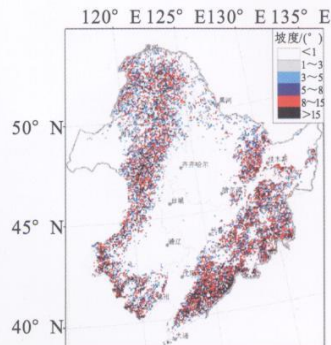
[10] 赵存兴.中国黄土高原地面坡度分级数据集[M].北京:海洋出版社,1989.



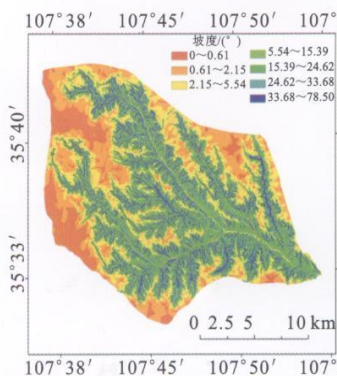
附图1 东北地区土壤可蚀性空间分布



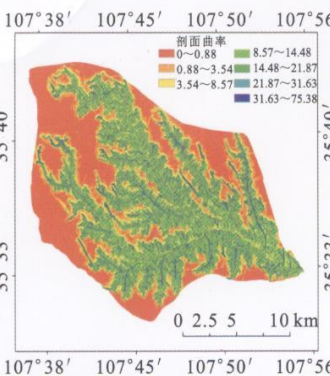
附图2 东北地区土壤侵蚀强度空间分布



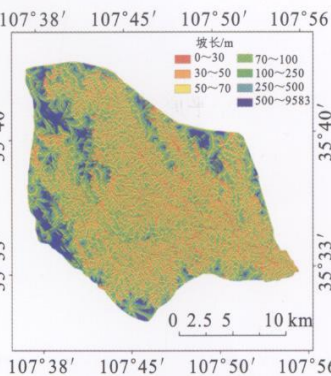
附图3 东北地区地表坡度



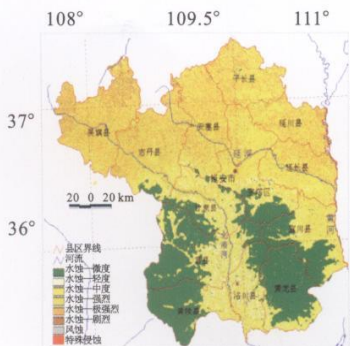
附图4 视瓦川流域坡度图



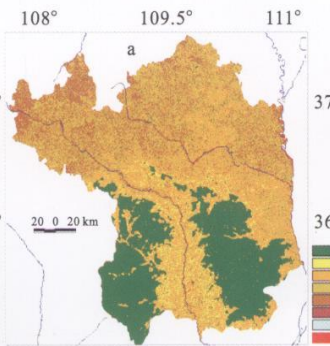
附图5 视瓦川流域剖面曲率图



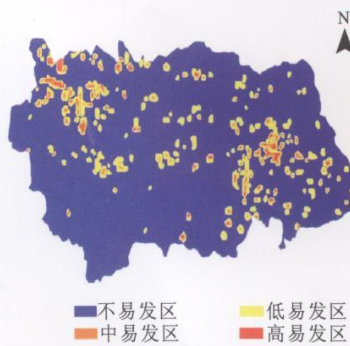
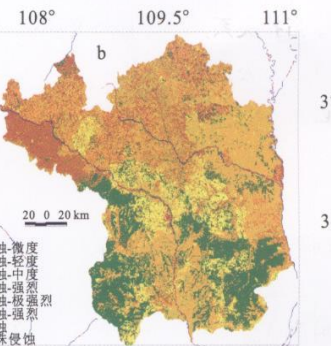
附图6 视瓦川流域坡长图



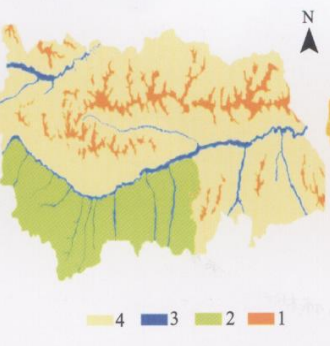
附图7 延安市土壤侵蚀强度等级图



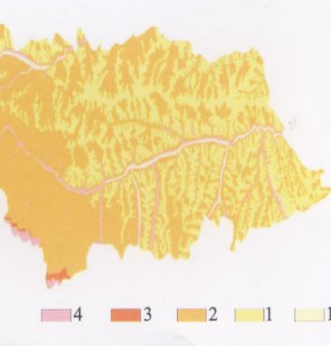
附图8 本研究(a)与第三次全国土壤侵蚀强度等级普查(b)对比



附图9 灵台县初步地质灾害易发性区划图



附图10 灵台县地貌类型对地质灾害影响分区图



附图11 灵台县地层岩性对地质灾害影响分区图