

基于 GIS 的喀斯特流域土壤侵蚀模数估算

——以贵阳麦西河流域为例

赵海兵, 安裕伦, 夏品华, 林 陶, 白鹏福

(贵州师范大学 地环学院 贵州山地资源与环境遥感实验室 山地环境重点实验室, 贵阳 550001)

摘 要:水土流失是喀斯特流域主要的生态问题,通过收集贵阳市麦西河流域气象、土地利用、土壤等数据,利用 3S 的技术方法建立流域土壤侵蚀空间数据库,应用 USLE 模型构建流域土壤侵蚀评价模型,运用 GIS 的空间数据处理方法,实现对麦西河流域土壤侵蚀模数的估算。结果表明:麦西河流域年均土壤侵蚀速率为 $1\,230.81\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,侵蚀强度类型以微度和轻度为主;中度以上侵蚀类型主要发生在坡度大于 25° ,植被覆盖较差的山体位置,尤其是旱地类型;从子流域上看麦乃 7 号子流域土壤流失较为严重。

关键词:贵阳麦西河流域; 3S 技术; USLE 模型; 土壤侵蚀模数估算

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0099-05

Estimate of Soil Erosion Modulus of the Watershed in Karst Region GIS-based

—A Case Study of Maixi River Basin in Guiyang

ZHAO Hai-bing, AN Yu-lun, XIA Pin-hua, LIN Tao, BAI Peng-fu

(College of Geography and Environment, Guizhou Normal University, Guizhou Mountain Resources and Environmental Remote Sensing Laboratory, Guizhou Key Laboratory of Mountain Environment, Guiyang 550001, China)

Abstract: Soil erosion is one of the main ecological problems in karst basin. The data on meteorology, soil and land use of Maixi River Basin in Guiyang were collected. 3S technology was used to establish the spatial database of soil erosion. Evaluational model of soil erosion was constructed by applying USLE model. The modulus estimates of soil erosion was performed by using GIS spatial data processing method. The results showed that annual soil erosion rate of Maixi River Basin was $1\,230.81\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, the type of erosion intensity was dominated by micro and mild degree, the type of moderate to severe erosion occurred mainly in the location of the slope gradient greater than 25° and poor vegetation coverage, especially dry type. From the point of sub-basin of view, soil erosion of the seventh sub-basin of Mainai River was more serious.

Key words: Maixi River Basin in Guiyang; 3S technology; USLE model; estimation of soil erosion modulus

喀斯特区域地形复杂,植被、土壤、土地利用方式差异很大,造成土壤侵蚀的空间变化很大^[1]。加之喀斯特区域水文条件复杂,地上地下二元结构显著,应用传统的土壤侵蚀调查方法对于喀斯特区域流域的土壤侵蚀调查有比较大的难度^[2]。

GIS 技术为土壤侵蚀的调查、数据库建设、模型构建提供了强有力的技术支持。土壤流失方程 USLE 和 GIS 的集成是目前中小尺度土壤侵蚀量预测和估算的主要方法,广泛应用于土壤侵蚀的风险评价、标识关键源区、模拟评价不同水土保持方案等。相对于传统的集中式方法进行土壤侵蚀量的预测,这

种分布式方法运用 GIS 的栅格数据分析功能,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以针对性提出最佳的管理措施。

采用适宜喀斯特流域土壤侵蚀模型因子合适算法的前提下,运用 ArcGIS 建立流域的空间数据库,生成 USLE 的各因子图,并借助 ArcGIS GRID 模块进行图像运算,估算贵阳麦西河流域土壤侵蚀量和土壤侵蚀强度,并对其各子流域土壤侵蚀强度的空间分异进行分析。

收稿日期:2010-12-08

修回日期:2011-03-16

资助项目:《百花湖麦西河综合治理集成技术与工程示范》子课题麦西河流域面源污染调查项目(合同编号为:贵阳市社会发展攻关计划[2009]筑科农合同字第 3-04 号,2009-2012 年);贵州省社会发展科技攻关项目(黔科合 SY[2010]3176 号)

作者简介:赵海兵(1980-),男,山西临汾市人,讲师,硕士,主要从事 GIS 与 RS 应用研究。E-mail:jime1000@163.com

1 麦西河流域概况

麦西河流域位于贵州省贵阳市金阳新区西部、清镇市东北部,主要为低中槽谷地区,属于季风湿润型气候区,年降雨量 100~1 300 mm,年平均气温 13.5~14.5℃,多年来平均降雨量为 961.4 mm,多年平均气温 14℃,年最大降雨量 1 158.5 mm,年最小降雨量 729.6 mm,年降雨在时间上分布不均匀,主要集中在 5—9 月,约占全年降雨量的 72%。

该流域是一个典型的农业景观与工业城市景观过渡的小流域,旱地和水田是流域内两种主要的农业耕作景观,旱坡地由于经常耕作和使用农药化肥,是流域内主要的非点源污染源地。麦西河流域居民主要为农业人口,交通条件较好,农业基础设施薄弱,经济有典型的郊区特征。

2 数据来源及 USLE 各因子值确定

2.1 USLE 模型

本文选用修正的通用土壤流失方程(RUSLE)预测麦西河流域年均土壤流失量,其基本形式为:

$$A = P \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中: A ——土壤侵蚀量[t/(hm²·a)]; R ——降雨侵蚀力因子[(MJ·mm)/(hm²·a)]; K ——土壤可侵蚀性因子[(t·hm²·h)/(hm²·MJ·mm)]; LS ——坡长、坡度因子(无量纲); C ——覆盖与管理因子(无量纲); P ——水土保持措施因子(无量纲)。

应用 GIS 和 RUSLE 模型预测土壤侵蚀的关键

是各指标值的确定和各因子图的生成^[3],针对 RUSLE 模型的 5 个因子,收集到研究区地形图、土壤图、土地分等数据库、降雨数据及土壤志等文献及相关资料。在 ArcGIS、Arcview 等软件支持下,获取相关数据,具体操作步骤如下:

(1)图层的建立和数字化。在 Arcview 和 ArcGIS 软件支持下,对研究区 1:50 000 地形图的等高线进行数字化,生成数字高程模型 DEM,进而获取坡度图。同样在 ArcGIS 软件支持下对土地分等数据进行整理和提取,提取出土壤类型图、土地利用现状图,为土壤侵蚀定量计算提供基础数据。同时利用地形图和遥感影像提取流域河流、道路、居民点等辅助信息。

(2)各类图层的空间校正和更新。应用 GIS 软件,使用统一的投影方式,将整理出的图层进行校正和投影变换,实现各类图层的空间叠加。应用 Google earth 高分辨率遥感影像对土地利用数据进行更新。

2.2 麦西河流域的提取

利用提取的 DEM 数据和河流数据,在 ArcView 软件的水文分析模块(hydro)支持下进行流域的汇水区、汇水边界提取(见附图 6)。对结果进行人工归类,进而计算出流域的总面积和各支流的汇水面积,见附图 7。通过上述分析可以得出麦西河流域面积为 31.38 km²,全流域根据水文状况由计算机辅助划分为 7 个子流域,汇水面 626 个。其中 1,2,3,4 号子流域为独立子流域;5 号黄土坡子流域属于地下暗河系统;6,7 号子流域为汇水区。各子流域情况表 1 所示。

表 1 麦西河子流域划分及面积

序号	子流域名称(代码)	最小汇水面数量/个	子流域面积/m ²	占流域比重/%
1	干井 1 号子流域(1)	118	5684687	18.12
2	未命名 3 号子流域(3)	15	1298328	4.14
3	黄土坡 5 号子流域(5)	42	2014157	6.42
4	昌坡 4 号子流域(4)	76	4464725	14.23
5	麦乃 7 号子流域(7)	188	890078728.36	
6	龙昌坝 2 号子流域(2)	138	7171291	22.85
7	沙锅寨 6 号子流域(6)	49	1846342	5.88
	合计	626	31380317	100.00

2.3 RUSLE 各因子值的确定和因子图层的生成

2.3.1 降雨侵蚀力因子 R 值的估算 降雨侵蚀因子 R 与降雨量、降雨强度、历时、雨滴的大小以及雨滴下降速度有关,它反映了降雨对土壤的潜在侵蚀能力。降雨侵蚀力难以直接测定,大多用降雨参数,如强度、雨量等来估算降雨分侵蚀能力,进行 R 的敏感性分析。本文采用 R 值的简便算法计算,即 Wishmeier 年降雨侵蚀力经验公式^[4]:

$$F = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.51 \lg P_i^2 / P - 0.8188)} \quad (2)$$

式中: P_i ——月降雨量(mm); P ——年降雨量(mm); R ——全年的降雨侵蚀力。本文收集了贵阳市 2004—2009 年共 6 a 的月平均降雨量数据,分别求解年均降雨量,然后代入公式(2),进行计算得出流域降雨侵蚀力因子 R 值为 160.613 6(MJ·mm)/(hm²·a)。由于流域面积较小,加之气象站点数据获取困难,因此全流域使用一个 R 值。

2.3.2 土壤可蚀性因子 K 值的估算 K 因子反映了土壤对侵蚀的敏感性及其降水所产生的径流量与径流速率的大小。 K 的大小与土壤质地、土壤有机质含量有较高的相关性。根据土地分等数据库成果和《贵州省土壤志》^[5],获得麦西河流域各类土壤的质地和

有机质含量,参考 Wischmeier 等建立的土壤可蚀性 K 因子图,并参阅相关文献^[6-10],根据杨广斌等 2006 年土壤质地和有机质含量确定 K 的方法^[11],近似确定出麦西河流域不同土壤类型的可蚀性因子 K 值(表 2),并以土种为成图单元,生成 K 值分布图(附图 8)。

表 2 麦西河流域表层土壤质地及 K 值

序号	亚类	土属	土种	表层土壤质地	对应 K 值
1	黄色石灰土	大泥土	白大泥土	黏土	0.21
2			大泥土	黏土	0.21
3			油大泥土	黏土	0.21
4	酸性紫色土	血泥土	血泥土	黏土或壤质黏土	0.27
5		大眼泥田	大眼泥田	粉砂质黏土	0.21
6		班黄泥田	班黄泥田	黏土	0.21
7			班黄胶泥田	黏土	0.21
8			小黄泥田	黏土	0.21
9			油黄砂泥田	黏土	0.21
10			班潮泥田	砂质黏壤土	0.27
11			潮泥田	砂质黏壤土	0.27
12		幼黄泥田	幼黄砂泥田	黏土	0.21
13			幼黄砂田	黏土	0.21
14			大土泥田	黏土	0.21
15	淹育型水稻土	大土泥田	大土泥田	黏土	0.21
16		大黄泥土	大黄泥土	壤黏土	0.28
17		黄壤	黄泥土	粉砂质黏土	0.48
18			复钙黄泥土	粉砂质黏土	0.48
19		黄砂土	黄砂土	砂黏壤土	0.37
20		黄黏泥土	黄黏泥土	黏土	0.21
21		林草地黄泥土	林草地黄泥土	粉砂质黏土	0.48
22	黄壤性土	黄砂泥土	黄砂泥土	壤质黏土	0.28
23		幼黄泥土	黄扁泥土	砾质壤黏土	0.27
24		潮砂泥土	潮泥土	砂黏壤土	0.37
25	黑色石灰土	黑岩泥土	岩泥土	粉砂壤土	0.25

2.3.3 坡长、坡度因子 LS 值的估算 LS 因子反映地形地貌特征对土壤侵蚀的影响。 LS 表示在其他条件相同的情况下,某一给定坡度和坡长的坡面上,土壤流失量与标准径流小区典型坡面土壤流失量的比值,是侵蚀动力的加速因子。本文采用 Wischmeier 提出的 LS 因子计算方法,利用流域 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 的 DEM 数据,在 ArcGIS 中的 Spatial Analyst 模块下

计算坡度,分别计算基于角度 Degree 和百分比 Percent 的运算,得到两个坡度图层(图 1)。根据汤国安等关于坡长因子提取的算法(汤国安等 ArcView 空间分析原理),通过水文分析模块计算各像元坡长 L 因子值和 L 图层。再将计算好的角度坡度因子代入 λ ;将计算好的百分比坡度因子按照公式(4),重分类得到各像元 m 值和图层(附图 9)。

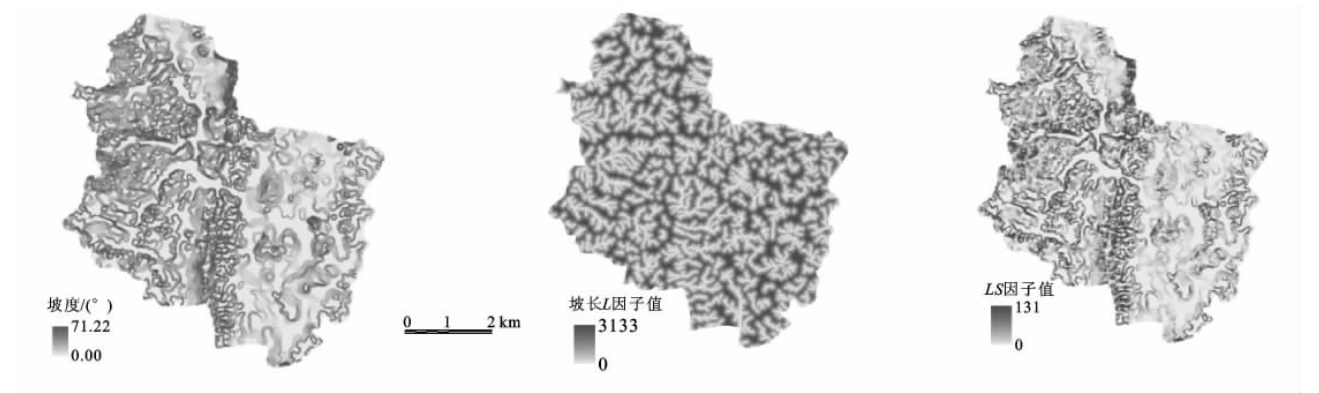


图 1 麦西河流域不同因子分布

根据公式:

$$LS=(\lambda/22.13)^m(65.41\sin\theta^2+4.56\sin\theta+0.065)$$
(3)

式中: L ——坡长因子; λ ——坡长(m); m ——坡长指数; θ ——百分比坡度。其取值范围如下:

$$m=\begin{cases} 0.2 & \theta<1\% \\ 0.3 & 1\%\leq\theta<3\% \\ 0.4 & 3\%\leq\theta<5\% \\ 0.5 & \theta\geq5\% \end{cases}$$
(4)

使用上述公式来计算每个像元的坡长、坡度因子 LS 值和图层(图 1)。

2.3.4 覆盖与管理因子 C 值的估算 作物管理因子 C 是在相同的土壤、坡度和降雨条件下,某一特定作物或植被情况时的土壤流失量与耕种过后连续休闲地的土壤流失量的比值。植被覆盖和经营管理 C

因子为侵蚀动力的抑制因子,其值小于或等于 1。 C 因子反映的是有关覆盖度和管理变量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。 C 的取值主要与植被覆盖和土地利用类型有关。根据 Wichmeier 等^[4],并结合流域土地利用,获得麦西河流域不同土地利用方式下的 C 因子值(表 3)。

2.3.5 水土保持措施因子 P 值的估算 水土保持措施因 P 是采取水保措施后,土壤流失量与顺坡种植时的土壤流失量的比值。侵蚀防治措施因子 P 是采用专门措施之后的土壤流失量与顺坡种植时的土壤流失量的比值,通常的侵蚀控制措施有:等高耕作、修梯田等。由于没有实验资料,主要参照美国农业部手册 703 号和在亚热带区域、福建地区的相关研究^[6]对 P 进行率定(表 3)。

表 3 麦西河流域 C 、 P 因子取值

序号	Landuse 类型	水田	旱地	其他耕地	林地	疏林地	荒地	居民点	草地	水域	灌木林地
1	C 值	0.18	0.31	0.1	0.006	0.017	0.06	0.20	0.1	0	0.1
2	P 值	0.35	0.6	0.6	1	0.8	1	1	0.20	0	0.2

然后将土地利用的类型以及对应的 P 、 C 值进行链接,并在 ArcGIS 软件下进行矢栅转换处理,以便于进行 GRID 运算;从而得到 P 、 C 图层,详见附图 10—11。

2.4 土壤侵蚀量估算

将上述各因子图层均转化为统一坐标系下像元大小为 $5\text{ m}\times5\text{ m}$ 的栅格图,在 ArcGIS 软件支持下,将各因子图(GRID 格式)进行连乘,得到各像元年土壤流失量 A 值(图 2)。根据水利部颁布的《水土保持技术规范》SD2382—28 和《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,并生成研究区土壤侵蚀强度等级图(附图 12)。将上述成果,按照各子流域进行统计,得出不同子流域、不同侵蚀强度下的侵蚀模数,结果见表 4。

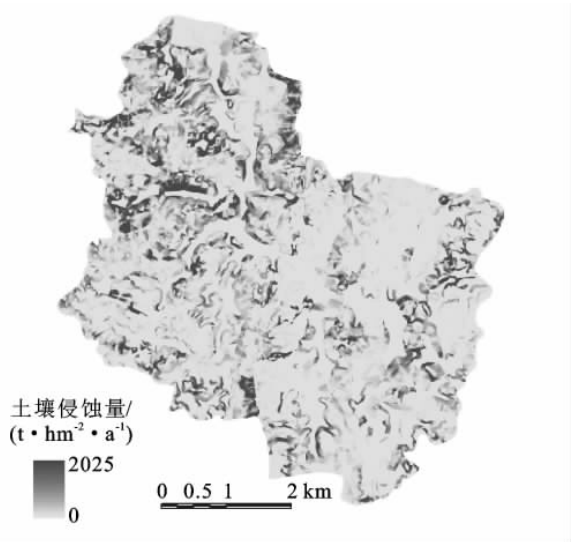


图 2 麦西河流域各像元年土壤流失量 A 值分布

表 4 麦西河各子流域土壤侵蚀模数及分级统计

序号	子流域名称	子流域面积/ hm ²	土壤侵蚀总量/ kg	面积/hm ²				
				微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	极强度侵蚀
1	干井 1 号子流域	568.47	165110.75	481.17	71.45	13.64	2.17	0.05
2	未命名 3 号子流域	129.83	205151.25	114.63	13.34	1.60	0.27	0.00
3	黄土坡 5 号子流域	201.42	30076.00	158.52	35.16	7.58	0.16	0.00
4	昌坡 4 号子流域	446.47	167321.25	356.66	73.12	14.60	1.68	0.41
5	麦乃 7 号子流域	890.08	75421.25	599.70	217.68	65.07	7.49	0.15
6	龙昌坝 2 号子流域	717.13	52173.50	607.50	88.91	17.90	2.60	0.21
7	沙锅寨 6 号子流域	184.63	53557.50	153.97	26.43	3.87	0.36	0.00
	合计	3138.03	1230811.50	2472.15	526.09	124.27	14.70	0.82

3 结论

(1)麦西河流域面积为 31.38 km²,全区域按照分水岭可以分为 7 个子流域,汇水面 626 个,确定了流域的实际范围;汇水线的计算可以作为重要的污染物流入通道,为治污工程布置提供位置参考;(2)麦西河流域年均土壤侵蚀速率为 1 230.81 t/(hm²·a),侵蚀强度类型以微度和轻度为主。这与区域地形起伏较为缓和有关;(3)中度以上侵蚀类型主要发生在坡度大于 25°,植被覆盖较差的山体位置,尤其是旱地类型。从子流域上看麦乃 7 号子流域土壤流失较为严重。

值得探讨的问题:(1)DEM 的数据精度问题。使用 1:5 万的地形图对于小流域水文分析有些粗略,汇水线的计算存在一定的误差。(2)关于喀斯特区域的土壤侵蚀分级标准有所不同,由于缺乏实测数据,这里使用的标准可能不太符合区域现实,有待在进一步的研究中确立针对喀斯特流域的土壤侵蚀模数的估算模型;(3)流域涉及岩溶溶蚀,这里没有考虑,有待进一步研究中加以充实。

参考文献:

- [1] 曹建华,蒋忠诚,杨德生,等.我国西南岩溶区土壤侵蚀强度分级标准研究[J].中国水土保持科学,2008,6(6):1-7.

- [2] 蔡雄飞,王济,雷丽,等.中国西南喀斯特山区土壤侵蚀研究进展[J].贵州农业科学,2008,36(3):81-84.
- [3] 蔡崇法,丁树文,史志华,等.应用 ULSE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J].水土保持学报,2000,14(2):19-24.
- [4] Wischmeier W H, Smith D D. Agriculture Handbook No. 537, Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning with the Universal Soil Loss Equation(USLE)[M]. Springfield United States Department of Agriculture, USA,1978.
- [5] 贵州省土地普查办公室.贵州省土壤[M].贵阳:贵州科技出版社,1989.
- [6] 洪华生,黄金良,曹文志,等.九龙江流域农业非点源污染机理与控制研究[M].北京:科学出版社,2008.
- [7] 卜兆宏,李全英.土壤可蚀性(K)值图编制方法的初步研究[J].农村生态环境,1995,11(1):51-59.
- [8] 周斌,杨柏林,洪业汤,等.基于GIS的岩溶地区水土流失遥感定量监测研究[J].矿物学报,2000,20(1):132-221.
- [9] 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.
- [10] 许月卿,邵晓梅.基于GIS和RUSLE的土壤侵蚀量计算:以贵州省猫跳河流域为例[J].北京林业大学学报,2006,28(4):67-71.
- [11] 杨广斌,李亦秋,安裕伦.基于网格数据的贵州土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异[J].中国岩溶,2006,25(1):74-78.

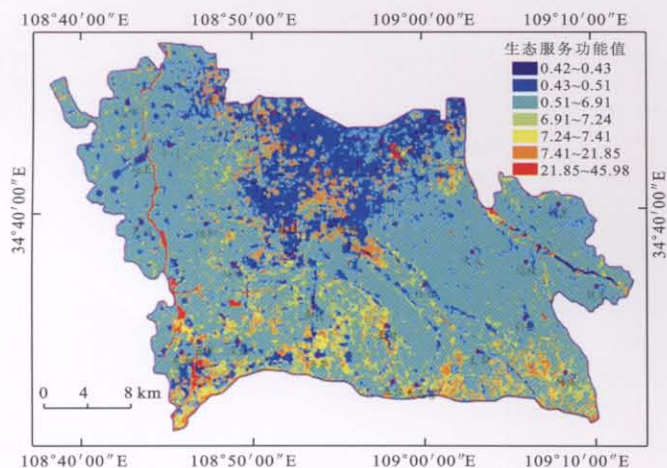
(上接第98页)

参考文献:

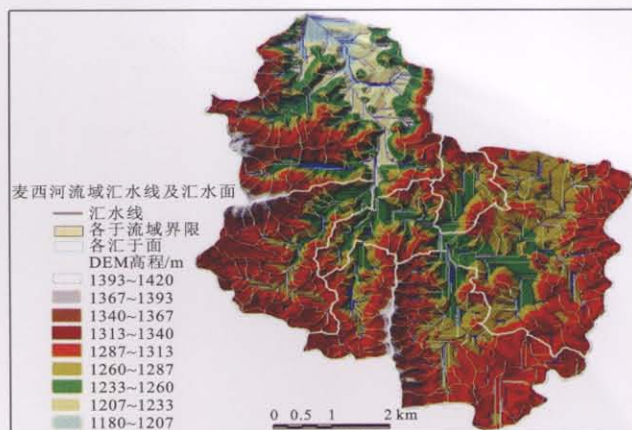
- [1] 张玲,李广贺,张旭.土壤种子库研究综述[J].生态学杂志,2004,23(2):114-120.
- [2] 闫巧玲,刘志民,李荣平.持久土壤种子库研究综述[J].生态学杂志,2005,24(8):948-952.
- [3] 李红艳,杨晓晖,蒋凤玲,等.我国干旱区草场种子库研究进展[J].河北林果研究,2005,20(2):124-127.
- [4] 曾彦军,王彦荣,南志标,等.阿拉善干旱荒漠区不同植被类型土壤种子库研究[J].应用生态学报,2003,14(9):1457-1463.
- [5] 李秋艳,赵文智.干旱区土壤种子库的研究进展[J].地区科学进展,2005,20(3):350-358.
- [6] 孙建华,王彦荣,曾彦军.封育和放牧条件下退化荒漠草

地土壤种子库特征[J].西北植物学报,2005,25(10):2035-2042.

- [7] 白文娟,焦菊英.土壤种子库的研究方法综述[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):195-198.
- [8] 焦树英,韩国栋,李永强,等.不同载畜率对荒漠草原群落结构和功能群生产力的影响[J].西北植物学报,2006,26(3):564-571.
- [9] 吴素琴,温淑萍,杨瑞全.宁夏干草原、荒漠草原及其治理[J].宁夏农林科技,2005(3):35-37.
- [10] 任继周.草业科学研究方法[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [11] 刘旭,程瑞梅,肖文发.土壤种子库研究进展[J].世界林业研究,2008(1):27-33.
- [12] 苏楞高娃,敖特根,齐晓荣.封育对沙化典型草原土壤种子库的影响[J].内蒙古草业,2007,19(1):46-48.



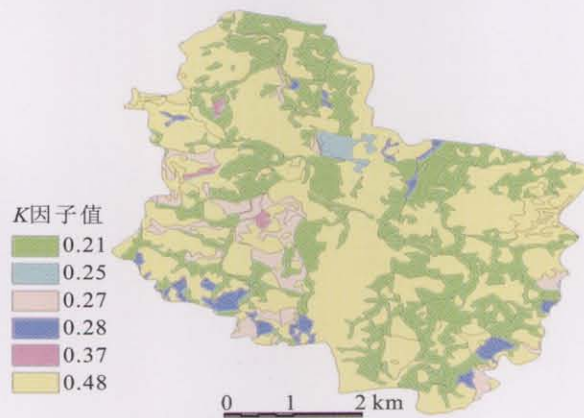
附图5 研究区生态系统服务功能值密度图



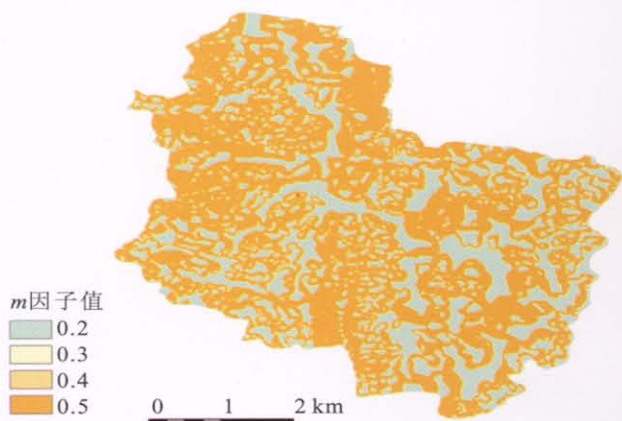
附图6 ArcView水文分析出的麦西河流域汇水线及汇水面



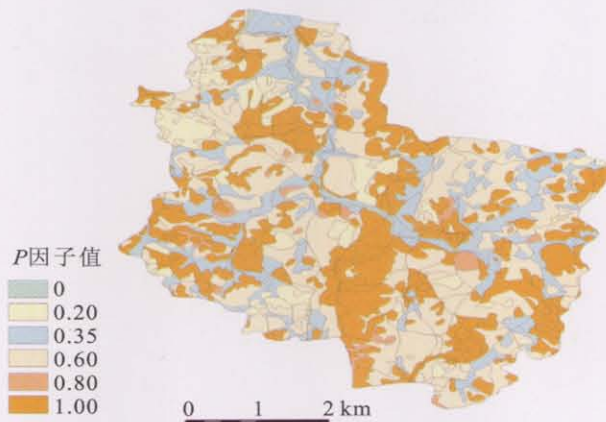
附图7 麦西河流域实际河流



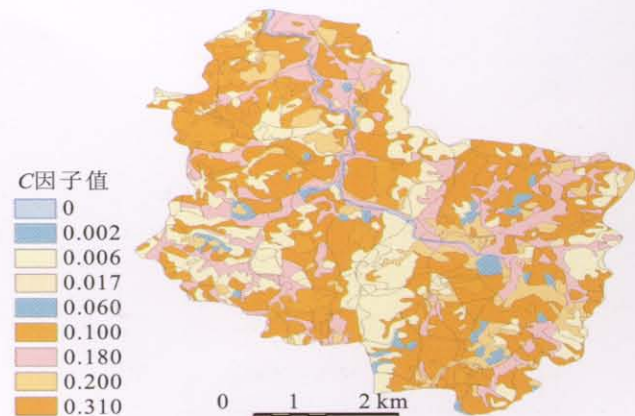
附图8 麦西河流域土壤可蚀性K值分布图



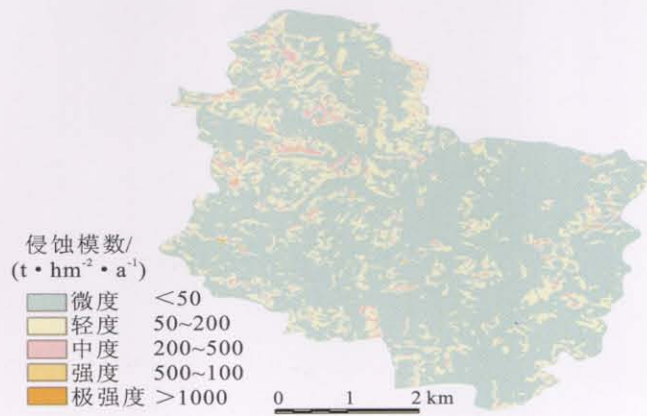
附图9 麦西河流域坡度m值分级图



附图10 麦西河流域水土保持措施因子P值分布图



附图11 麦西河流域覆盖与管理因子C值分布图



附图12 麦西河流域土壤侵蚀强度分级图