

# 土壤侵蚀 GIS 计算系统的研建与应用

陈金星<sup>1,2</sup>, 岳德鹏<sup>1,2\*</sup>, 王计平<sup>3</sup>, 尚 书<sup>1,2</sup>, 马梦超<sup>1,2</sup>

(1. 北京林业大学 测绘与 3S 技术中心, 北京 100083; 2. 北京林业大学 林学院, 省部共建森林资源培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;  
3. 国家林业局 盐碱地研究中心, 北京 100091)

**摘 要:**土壤侵蚀是一种严重的灾害,它会破坏环境以及带来诸如洪涝、干旱等灾害。为计算土壤侵蚀量,设计了一种土壤侵蚀计算系统,主要阐述其设计理论、思路和方法。系统基于修正通用土壤流失方程(USLE)和中国土壤流失方程(CSLE),与 GIS 相结合,使用二次开发工具 ArcGIS Engine 10.1,构建于 Microsoft .NET Framework 4。通过输入相应的图层,系统能计算各个因子,即降雨因子、植被覆盖与管理因子、坡度因子、坡长因子、土地管理因子和土壤可蚀性因子,以及 B、E、T 因子,最后用相应的因子再计算土壤侵蚀量。系统提供可视化界面,操作简便,不但能计算土壤侵蚀量,还能制作土壤侵蚀专题图、土壤侵蚀分级图,以及进行分级统计。最后以北京市作为研究案例,使用 RUSLE 和 CSLE 产生了北京市土壤侵蚀分布图和分级图,RUSLE 分级图共分 5 级,CSLE 为 6 级,RUSLE 计算结果的相对误差为 9.5%,系统有助于土壤流失的监测以及为防治土壤流失提供依据。

**关键词:**土壤流失;RUSLE;插值;坡长;NDVI

**中图分类号:**S157.9      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2016)01-0206-08

## Development and Application of A GIS Calculating System for Soil Erosion

CHEN Jin-xing<sup>1,2</sup>, YUE De-peng<sup>1,2\*</sup>, WANG Ji-ping<sup>3</sup>, SHANG Shu<sup>1,2</sup>, MA Meng-chao<sup>1,2</sup>

(1. Institute of GIS, RS and GPS, School of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. College of Forestry, Beijing Forestry University, Key Laboratory of Forest Resources Cultivation and Conservation, Ministry of Education, Beijing 100083, China;  
3. Research Center of Saline and Alkali Land of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Soil erosion is a serious hazard that causes environmental damages and other problems such as flood and drought etc. To compute soil loss, a system that merges with geographic information system (GIS) was developed. Its principle, train of thought and methods were elaborated. This program used the model of Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and Chinese Soil Loss Equation (CSLE). It was built on Microsoft .NET Framework 4, combined with integrated secondary development tool ArcGIS Engine 10.1. This program could compute all the RUSLE and CLSE factors, namely rainfall erosivity factor, vegetation cover management factor, soil erodibility factor, slope length factor, slope angle factor, conservation practice factor and B, E, and T factors by inputting corresponding layers. The system provided visual interface and it was easy to use. It could not only calculate the amount of soil loss but make thematic maps of soil erosion and classification map of soil erosion intensity. We used the data of Beijing as an example for application. The spatial distribution maps of soil erosion were generated, and it was classified into five levels by using RUSLE and the other five by using CSLE, which could monitor the distribution of soil erosion patterns. The results were in line with the soil erosion tendency. The soil erosion map would facilitate the

收稿日期:2015-03-26    修回日期:2015-05-11

基金项目:国家自然科学基金项目(41371189);国家林业局引进国际林业科学技术项目(2014-4-76)。

作者简介:陈金星,男,博士生,研究方向:3S 技术和林业信息化。E-mail:venusandp@gmail.com

\* 通信作者:岳德鹏,男,博士,教授,研究方向:荒漠化防治、景观生态和土地评价。E-mail:yuedepeng@126.com

monitoring of soil loss and providing basis for treating soil loss.

**Key words:**soil erosion; RUSLE; interpolation; slope length; NDVI

土壤侵蚀是当今世界普遍关注的重大环境问题之一<sup>[1]</sup>,土壤侵蚀引起土地退化和泥石流一类问题<sup>[2]</sup>,而且影响生态、社会和经济的可持续发展。因而,一种有效计算土壤侵蚀的方法有助于合理地利用土地资源以防治水土流失。土壤侵蚀的水蚀模型常见的有 USLE、RUSLE、欧洲土壤侵蚀模型、EU-ROSEM、ANSWERS、APNPS、EGEM、CREAMS 等。其中 USLE 是通过在不同条件下大量样地的研究数据进行统计分析后提出的<sup>[3]</sup>;另外比利时鲁汶大学依据 RUSLE,构建了 WaTEM/SEDEM 模型,可计算年均土壤侵蚀和泥沙的运移能力<sup>[4]</sup>;美国农业部组织多个部门提出美国水蚀预报模型(WEEP),有坡面版、流域版和网格版<sup>[5]</sup>;有学者在 USLE 和 RUSLE 方程式的基础上,经过改进提出中国土壤流失方程式(CSLE)<sup>[6]</sup>;郑粉莉<sup>[7]</sup>等提出了符合黄土丘陵区地貌特点的陡坡地土壤流失预报模型。

国内外计算土壤侵蚀量的主要有以下程序,美国农业部农业研究服务中心领导开发了 RUSLE1 和 RUSLE2,不过这 2 个程序未与 GIS 相结合。美国农业部国家土壤侵蚀研究中心与普杜大学合作,开发了基于 ArcView 的 GeoWEPP。荷兰 Utrecht 大学开发了 PCRaster<sup>[8]</sup>,它用空间动态模型语言以实现 LISEM 模型,对于普通用户而言空间动态语言难以使用。澳大利亚昆士兰大学的 David Pullar 等使用 Arcview 网格 C 言语输入输出函数实现读写 APNPS 的文件格式<sup>[9]</sup>;祝赢<sup>[10]</sup>等通过 .net 平台,结合 CSLE 开发了土壤水蚀模数计算器。李清问<sup>[11]</sup>等使用 Visual C++ 开发了基于降雨径流侵蚀模型土壤侵蚀系统,但主要适用于黄土高原地区。

通常土壤侵蚀量的计算需要使用 Erdas 和 ArcGIS,已有的研究,陈涛<sup>[12]</sup>对神府矿区的水土流失进行分级,贾俊姝<sup>[13]</sup>对西藏与青海之间的大通县的土壤侵蚀量进行计算,柳艺博<sup>[14]</sup>对东北黑土区土壤侵蚀的研究。需使用 2 种软件,步骤繁多,另外还要输入 Python 和编写 AML 代码,过程复杂。本系统结合 RUSLE 和 CLSE,在考虑 2 种模型和不同因子计算方法在不同地区和不同尺度的适用性下,依据数据可获取的程度,选取相应的模型和因子计算方法,得出土壤侵蚀模数及其空间分布。它拥有简洁的图形用户界面,能够容易地使用高精度的地理空间数据,可进行空间查询和分析以及对数据进行管理,另外能模拟、快速浏览并输出结果等,实

现水土流失区的漫游和自由缩放。

## 1 系统结构和功能

### 1.1 系统设计需求分析

系统具有空间分析和统计功能,能够对数据进行录入、编辑、处理、统计、检索、图像输出等功能,该系统目标有:建立统一标准的数据库,对矢栅数据、表格数据、属性数据进行更新、管理和格式的统一;辅助决策管理,根据区域内不同地方土壤侵蚀状况,制定相应的保护措施,提供相应的方位、侵蚀量等;小流域环境质量监控,流域环境涉及植被、土壤、人为破坏等状况,本系统需使用到这些因素,从获取的数据中得知流域质量。

### 1.2 系统结构

系统自底向上包括数据层、插件层和应用层(图 1 所示)。在数据层,系统使用 Personal Geodatabase 空间数据模型,用 ArcSDE 空间数据库引擎管理空间数据和属性数据。插件层将数据库中的数据 and 用户相关联,包括数据存储和读取。应用层与用户交互,实现基本操作、地图渲染,土壤侵蚀的计算和统计以及空间数据的查询。

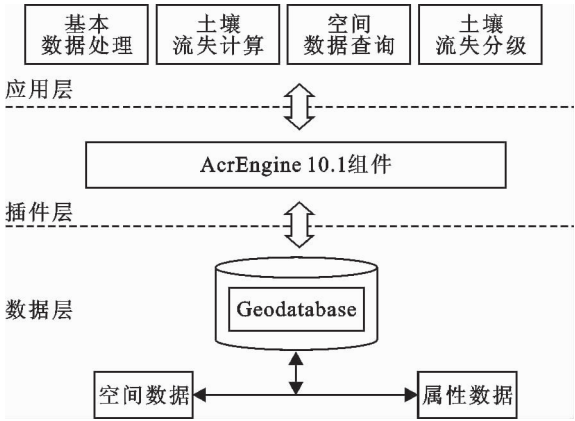


图 1 系统结构  
Fig. 1 System architecture

### 1.3 系统功能

加载基本控件 ToolbarControl、MapControl 和 TocContro,工具栏中加载一些常用工具。系统先计算各个因子,然后计算土壤侵蚀量。另外系统能计算总土壤侵蚀量、单位面积土壤侵蚀量和土壤侵蚀面积,几个因子的计算需用到矢量转栅格和图像剪裁的功能,另外系统能按用户输入条件进行空间数据的查询,包括最大土壤侵蚀量方位的查询,系统的功能如图 2 所示。

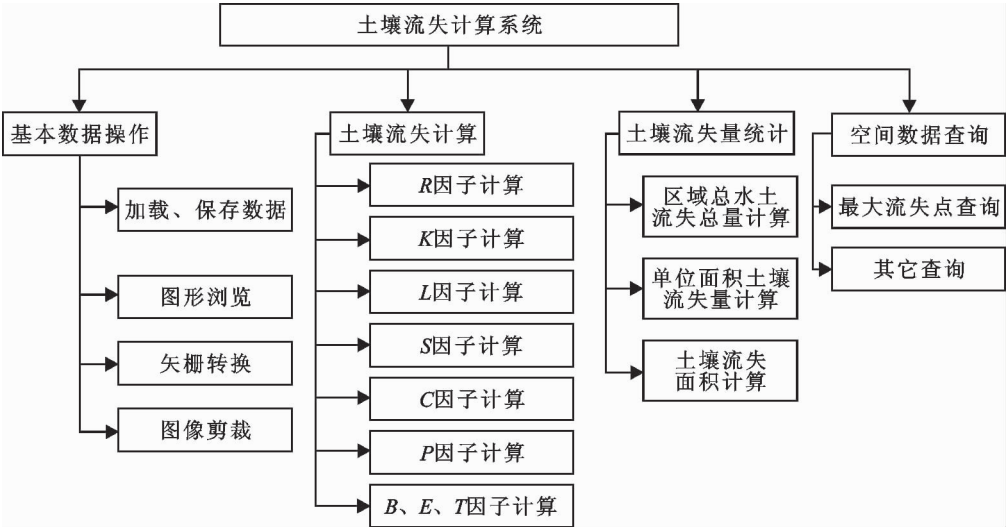


图 2 系统功能

Fig. 2 System function

2 系统实现

2.1 土壤流失模型

修正通用土壤流失方程表达式为：

$$A=R\times K\times L\times S\times C\times P \tag{1}$$

式中, $A$  为年土壤侵蚀量( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ ), $R$  为降雨侵蚀因子( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ ), $K$  为土壤可蚀性因子, $L$ 、 $S$ 、 $C$  和  $P$  为无量纲因子,分别代表坡长因子、坡度因子、植被覆盖因子和土地管理因子。

CLSE 与 RUSLE 相似,表达为:

$$A2=R\times K\times L\times S\times B\times E\times T \tag{2}$$

$R$ 、 $K$ 、 $L$ 、 $S$  与 RUSLE 相似,而  $B$  为水土保持生物措施, $E$  为水土保持工程措施, $T$  为水土保持耕作措施。

系统所需数据包括降雨记录、DEM、NDVI、土壤类型图、土地利用图(图 3)。在对降雨记录插值后产生整个区域的降雨图,之后再用研究区的降雨图进行掩模以获得剪裁后的图像。地形因子、坡度和坡长因子,由 DEM 通过一系列步骤获得。土壤类型图和土地利用图为矢量图,需转换为栅格图,之后使用 RUSLE 模型或 CSLE 模型的在界面中选择相应因子。

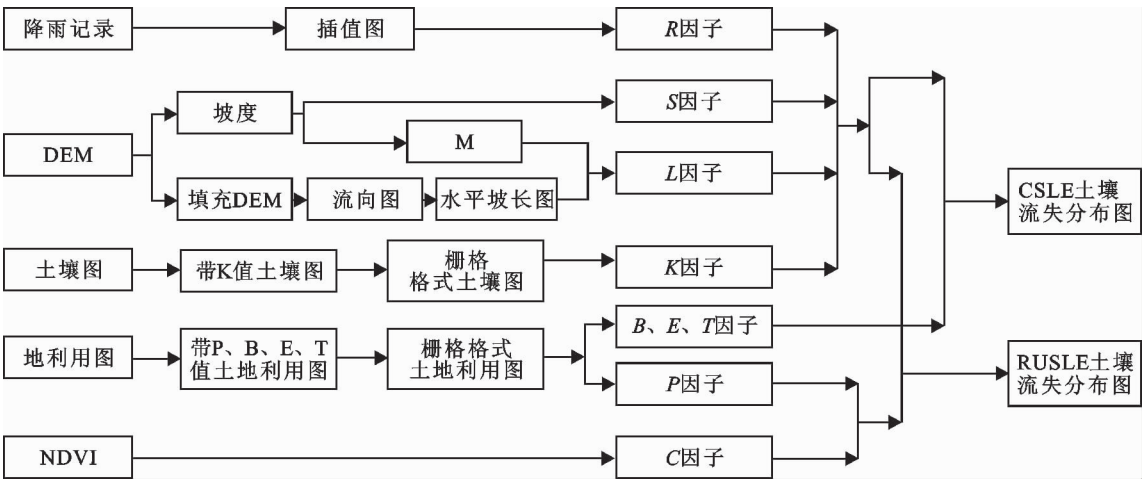


图 3 数据流程

Fig. 3 Overall data structure

2.2 R 因子的实现

$R$  代表降雨引起土壤侵蚀的潜力,根据 RUSLE,使用 Wischmeier 的经验方程<sup>[13]</sup>:

$$R_1=\sum_{i=1}^{12}1.735\times e^{1.5\times 1g\frac{p_i^2}{P}-0.8188} \tag{3}$$

$R$  为降雨蚀性因子( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ ), $p_i$  为第  $i$  个月的降雨量, $P$  为年均降雨量。降雨数据应为 shapefile 格式,通过点击相关按钮可以计算出  $R$  值。

而在 CSLE 中, $R$  用日雨量进行估算,用  $R_2$  表示 CSLE 的  $R$  因子。同样在 shapefile 中,利用 .dbf 文件实现  $R_2$  的计算。

2.3 C 因子的实现

植被覆盖因子( $C$ )为特定条件下已种植被和经营管理地块上的土壤流失与标准小区土壤流失之比<sup>[14]</sup>,一些研究中<sup>[15]</sup>采用下列式子来计算  $C$  值:

$$C=\begin{cases} 1,c=0 \\ 0.650\ 8-0.343\ 6\times\lg\ c,0<c\leqslant78.3\ \% \\ 0,c>78.3\ \% \end{cases} \quad (4)$$

式中, $C$  为要计算的植被覆盖因子, $c$  为植被覆盖率。NDVI 可以反映植被覆盖的状况,因而本文用 NDVI 代替  $c$ 。NDVI 为栅格格式,上述方程可以通过 ArcEngine 的栅格计算器实现,栅格计算器对 1 幅或多幅图执行地图代数,之后输出栅格图。栅格计算器支持 Python 脚本语言,本程序中的一些步骤使用到了栅格计算器,所有地图代数都融入代码中,实现上述方程的主要接口有:IMapAlgebraOp、RasterMapAlgebraOpClass 和 IGeoDataset outGet-Dataset。

2.4 K 和 P 因子的实现

在  $K$  值计算界面中点击相应按钮,右击 ax-TOCControl 中的图层,属性表窗口将与土壤图中.dbf 格式的文件相连接。另外为了计算方便,还按照查表法获取  $k$  值,在  $K$  因子计算中点击相应按键计算出对应模型的  $k$  因子。

土地管理因子( $P$ )通过土地利用图计算,在土地利用图中将对应的土地利用类型赋予相应的 1 个值。

2.5 B、E、T 的实现

CLSE 中的  $B$ 、 $E$ 、 $T$  根据土地利用图来实现, $E$ 、 $T$  按相关资料进行取值,取值按照土地利用类型赋值。

$B$  值按土地利用和植被覆盖度进行取值,将“Con”语句嵌套用在层序中实现  $B$  值计算。

2.6 L 和 S 的实现

地形因子主要包括坡长和坡度,坡长可定义为地面上一点沿水流方向到其流向起点的最大地面距离在水平面上的投影长度<sup>[16]</sup>。

本程序以 D8 算法为基础,采用了 Wischmeier 和 Smith 的方程<sup>[15]</sup>:

$$L=(\lambda\div22.1)^m \quad (5)$$

式中, $L$  为坡长, $\lambda$  为水平坡长, $m$  为指数,它由坡度决定:

$$m=\begin{cases} 0.2,\theta<1^\circ \\ 0.3,1^\circ\leqslant\theta\leqslant3^\circ \\ 0.4,3^\circ\leqslant\theta<5^\circ \\ 0.5,\theta\geqslant5^\circ \end{cases} \quad (6)$$

$\theta$  为从 DEM 中提取的坡度,坡度由 ISurfaceOp 接口实现,在设定地理数据集的参数和其他参数后可以获取坡度。坡度因子( $S$ )是从坡度( $Q$ )中提取,采用了 McCool 和 Liu<sup>[17-18]</sup> 的公式:

$$S=\begin{cases} 108\times\sin\theta+0.036,\theta<5^\circ \\ 168\times\sin\theta-0.5,5^\circ\leqslant\theta\leqslant10^\circ \\ 219\times\sin\theta-0.96,\theta\geqslant10^\circ \end{cases} \quad (7)$$

在本程序中,此方程通过使用栅格计算器来实现,与  $C$  因子的计算类似。Wischmeier 和 Smith<sup>[15]</sup> 将坡长定义为地表径流点到坡度减少到发生沉淀的地方。坡长可以分成许多段,计算如下:

$$\lambda_{x_i,y_j}=\int_{x_0,y_0}^{x_j,y_j}\lambda_kdx \quad (8)$$

$\lambda_{x_i,y_i}$  是点  $(x_j,y_j)$  的坡长, $(x_0,y_0)$  为地表径流原点, $\lambda_k$  为沿着水平方向上每个栅格的坡长。按照水往低处流的原理,首先要填充 DEM,因为 DEM 中的洼地将阻碍水的流动,当洼地填充后,水将通畅地流动,如图 4 所示。洼地与周围 8 个栅格相比,其高度为最低的栅格。IHydrologyOp2 接口将执行填充功能。

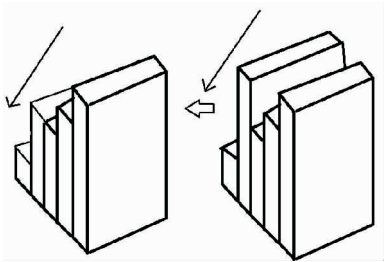


图 4 洼地填充

Fig. 4 Fill the depression

下一步为确定流向,在 ArcEngine 中,每个栅格周围有 8 个栅格,流向由最大的高差决定。8 个方向分别赋予 8 个不同的值(图 5)。IHydrologyOp2 接口的流向方法将实现这一功能。

32	64	128
16		1
8	4	2

图 5 每一流向的值

Fig. 5 Value for each direction

在确定流向后要确定每个栅格的水平距离,从

当前栅格到临近栅格的水平距离由下式计算：

$$\lambda_k = \begin{cases} 0.5 \times G, & \text{当流向为 } 1, 4, 16, 64 \\ \sqrt{2} \times G, & \text{当流向为 } 2, 8, 32, 128 \end{cases} \quad (9)$$

$G$  为栅格大小,  $\lambda_{xi,yi}$  是沿水平方向上第  $k$  个栅格的坡长, 水平坡长通过栅格计算器实现。

水流起点为局部高点, 可用 Flow Accumulation 功能找出汇流累积点为 0 的点, 标志为局部高点。

当前格网的坡长为从局部高点开始流入它的所有上游单元累加值的最大值与当前网格单元之和, 具体计算过程如下：

1) 找出最大值的网格, 从当前网格的流向, 取流出的下一网格。

2)  $K=k+1$ 。

3)  $L[i+m,j+n,k]=a[i+m,j+n,0]+\max(a[i,j,k_0]), a[i+m,j+n,0]$  为第  $(i+m,j+n)$  个单元格的坡长,  $\max(a[i,j,k_0])$  为上游单元累加值的最大值。  $A[i+m,j+n,k]$  为当前网格流出的下一单元。  $m,n$  为系数, 依据流向(flowdirection)取值。

当 flowdirection=1 时,  $m=0,n=1$ ;

当 flowdirection=2 时,  $m=1,n=1$ ;

当 flowdirection=4 时,  $m=1,n=0$ ;

当 flowdirection=8 时,  $m=1,n=-1$ ;

当 flowdirection=16 时,  $m=0,n=-1$ ;

当 flowdirection=32 时,  $m=-1,n=-1$ ;

当 flowdirection=64 时,  $m=-1,n=0$ ;

当 flowdirection=128 时,  $m=-1,n=1$ ;

4) 按从最大值点开始, 一方面从左到右, 朝着列的下方逐格扫描直到结束, 另一方面从右到左, 朝着列的上方, 逐格扫描直到结束。

5) 从第 1 个单元格开始, 逐个按下面方式, 对每个单元格赋值：

$$L[i,j]=\max(A[i,j,k_L]), L=0,1,2,\dots$$

$L[i,j]$  为  $i$  行  $j$  列网格处的坡长。

根据公式 5 和 6, 使用栅格计算器的功能计算出  $L$  因子。

2.7 A 的实现

土壤侵蚀依据公式(1)和(2)来计算, 各个因子通过 1 个对话框中的 6 个下拉框来选择, 使用栅格计算器将各因子相乘。土壤侵蚀图根据中国土壤侵蚀分类分级标准<sup>[19]</sup>进行分类, 各个栅格的土壤侵蚀值可以输出到. txt 文件中, 总侵蚀量由下式计算：

$$TA=\sum_1^m\sum_1^n\frac{A_{i,j}\times\text{cellsize}_{i,j}}{10\ 000} \quad (10)$$

式中,  $i$  为第  $i$  行,  $j$  为第  $j$  列;  $m$  和  $n$  分别为行和列的最大值。  $A_{i,j}$  为第  $i$  行  $j$  列栅格的土壤侵蚀量,

cellsize 为第  $i$  行  $j$  列栅格的面积。

3 系统应用

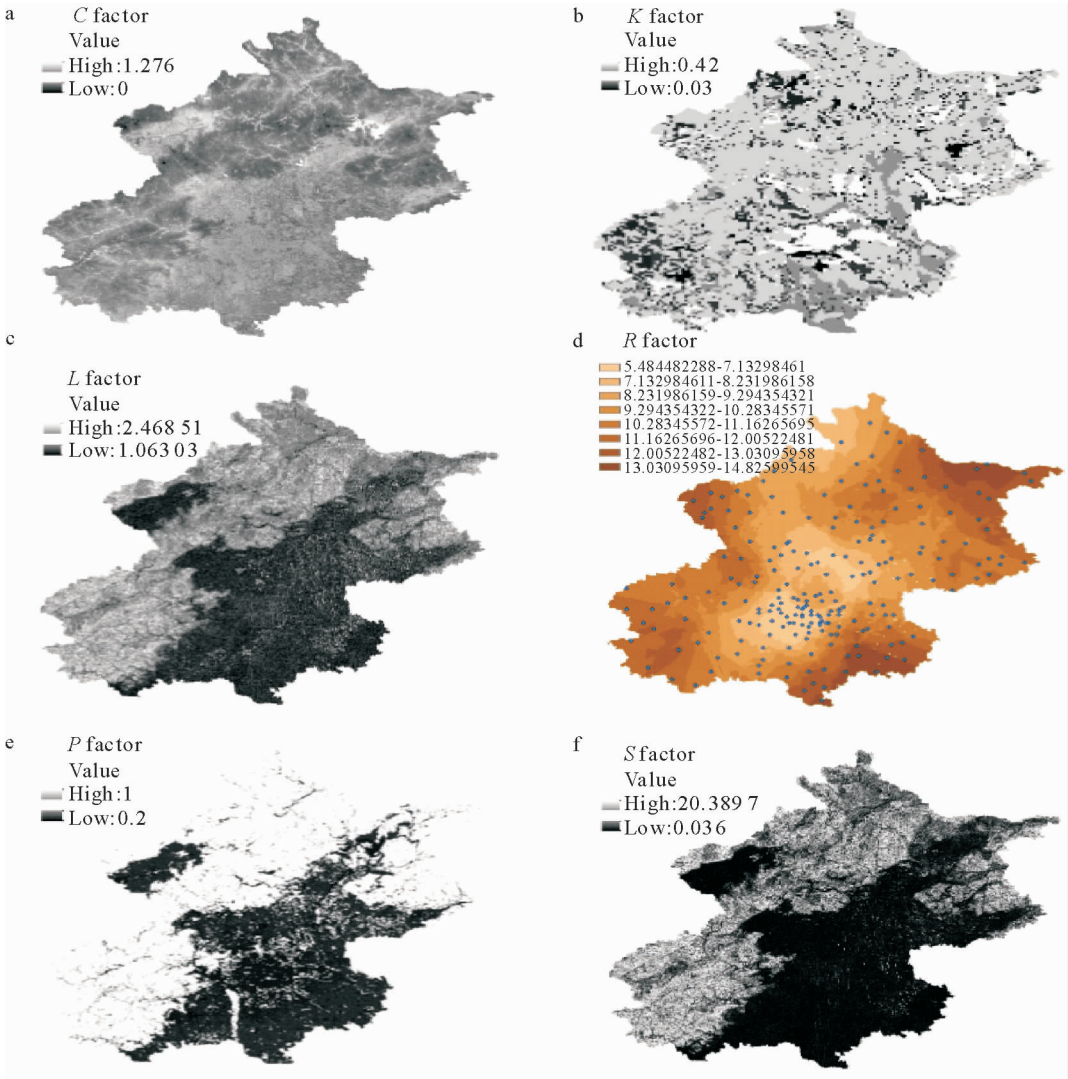
本系统被用来计算北京市的土壤侵蚀量, TM 影像从地理空间数据云网站上下载, DEM 由地形图中生成, 土地利用图由北京市国土局提供, 降雨数据由北京市气象局提供, NDVI 从 2010 年的 TM 影像中提取。首先选择 RUSLE 模型,  $R$  的计算采用公式(3),  $k$  使用查表法。图 6 显示了 6 个因子的分布, 植被覆盖因子值在 0~1. 276 之间, 它与植被覆盖有关。坡长在 1. 063~2. 468 之间波动, 坡度处在 0. 036°~20. 389°之间。降雨数据来自于 217 个气象站, 计算出  $R$  值后进行插值。

在输入 6 个因子后, 产生北京市 2010 年土壤侵蚀分布图(图 7), 图中深棕色区域为严重土壤侵蚀发生的区域。土壤侵蚀量在 0 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>~126. 126 487 7 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>之间。图中空白区域来自于土壤类型图, 空白区位于密云水库水域, 因这部分地区缺乏土壤类型。图中绿色的点为最大侵蚀点, 它位于门头沟区的庄户洼村附近。北京市总土壤侵蚀量和平均土壤侵蚀量分别为 13 442 971 t 和 848 t·km<sup>-2</sup>, 平均值不包括空白区域。根据已有资料——2012 年北京市水土保持公报中, 北京市土壤侵蚀总量为 12 273 700 t, 相对误差为 9. 5%, 二者较为一致, 其计算方法多了个砾石覆盖因子, 其值在 0~1 之间, 因而计算出的土壤侵蚀量较小, 同时各等级的侵蚀面积也减小。这个因子需要砾石覆盖, 此值难以获取, 可以将其放入土壤可蚀性因子中加以考虑。据已有文献, 对北京全市土壤侵蚀量进行估算研究的有路炳军和刘洪鸽<sup>[20]</sup>等, 他们使用降雨侵蚀力模型, 在 GIS 平台下, 计算出 2009 年北京全市土壤侵蚀量为 107. 98 万 t, 没有分类别的统计量, 此方法仅考虑降雨单因素, 计算出的值小许多, 考虑土壤侵蚀因素不全。

之后对北京市土壤侵蚀图进行分类, 分为 5 类, 如图 8, 之后生成统计表, 如表 1, 其中微度和轻度侵蚀区域占总面积的百分之 89. 4%。微度主要位于城区, 强烈和极强烈侵蚀区的面积之和为 90. 08 km<sup>2</sup>, 仅占总面积的 0. 56%。对北京土壤侵蚀影响从大到小为坡度、降雨、坡长、植被覆盖与管理、土地管理以及土壤可蚀性因子, 在 6 个因子中, 对土壤侵蚀最大的影响因子为坡度, 其次为降雨, 这是因为坡度增加, 沿坡面的分力增加, 同时入渗量减少, 坡面流量增加, 使得土壤侵蚀量增加。郭伟<sup>[21]</sup>在 ARC-GIS 使用 USLE 方程计算 2010 北京土壤侵蚀量, 得出微度到极强烈 6 个等级的侵蚀面积比例为



43.46%、52.09%、3.66%、0.62%、0.16%、0.02%，      本系统与此方法较为一致。



注:a. 植被覆盖与管理因子;b. 土壤可侵蚀因子;c. 坡长因子;d. 降雨因子;e. 土地管理因子;f. 坡度因子。

图 6 RUSLE 因子分布

Fig. 6 Distribution of RUSLE factors

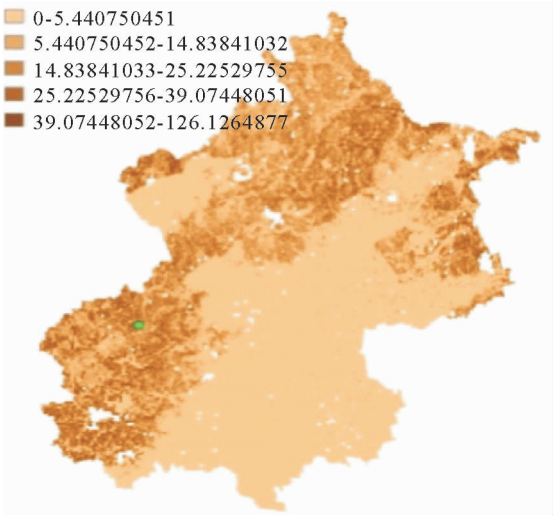


图 7 北京市 RUSLE 土壤侵蚀

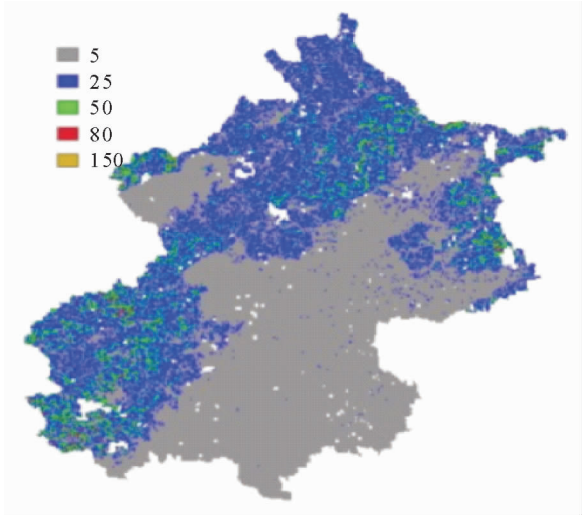


图 8 土壤侵蚀分级

Fig. 7 Map of soil erosion for Beijing computed by RUSLE

Fig. 8 Soil erosion level map

表 1 土壤侵蚀量分级及其面积  
Table 1 Soil erosion levels and their areas

土壤侵蚀量 /(t·hm <sup>-1</sup> )	分级	面积 /km <sup>2</sup>	面积 百分比/%
<5	微度	9 069.80	57.21
5~25	轻度	5 188.74	32.73
25~50	中度	1 504.47	9.49
50~80	强烈	87.96	0.55
80~150	极强烈	2.12	0.01

同样用 CSLE 计算土壤侵蚀,土壤侵蚀量在 0~205.842 间(图 9),总的土壤侵蚀量为 8 939 476 t,比 RUSLE 少了近 1/3。

对 CSLE 计算的土壤侵蚀进行分级,共分 6 级,如表 2,其中微度侵蚀所占比例最大,为 90.6%,随着侵蚀强度增加相应面积减少。另外根据不同的土地类型绘制侵蚀面积百分比的柱状图(图 9)。

表 2 基于 CSLE 的土壤侵蚀量分级及其面积  
Table 2 Soil erosion levels and areas based on CSLE

土壤侵蚀量 /(t·hm <sup>-1</sup> )	分级	面积 /km <sup>2</sup>	面积 百分比/%
<5	微度	14 362.98	90.600 53
5~25	轻度	1 329.55	8.386 696
25~50	中度	99.411 81	0.627 082
50~80	强烈	32.458 47	0.204 745
80~150	极强烈	20.504 24	0.129 339
>150	剧烈	8.181 624	0.051 609

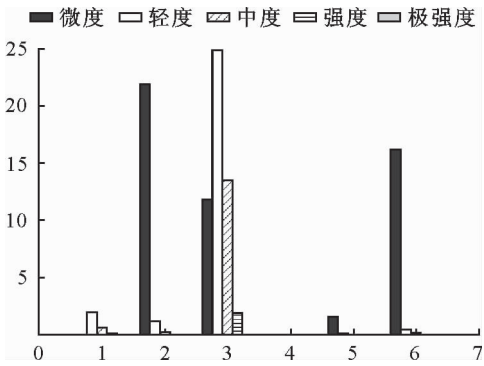


图 9 不同地类侵蚀强度比例直方

Fig. 9 Histogram of percentages for different erosion intensities

RUSLE 一般为计算面蚀、细沟侵蚀造成的土壤侵蚀,较少考虑沟蚀和耕作侵蚀。CSLE 将 RUSLE 中 C、P 因子根据我国水土保持实际情况重新归纳为生物措施因子、工程措施因子和耕作措施因子。当区域中林地和耕地较多时采用 RUSLE,即在植被覆盖率较高的情况下,而在其他用地类型较多的时候使用 CSLE。大的区域较适合采用 RUSLE,而在耕地较多的区域适于采用 CSLE,同样北京地区坡度较缓,而 CSLE 误差较大,较适合陡坡。

4 结论

GIS 是一种编辑、显示地图和进行空间分析的强大工具,本程序基于 GIS,具有 GIS 基本功能。系统把修正通用土壤流失方程和中国土壤流失方程与 GIS 有机地集成到一起,不仅支持土壤侵蚀运算过程的交互,而且能以可视化方式显示结果,其界面友好、操作简单以及结果简洁直观,相对于常规方法来说能提高计算速度,且能较大尺度范围的土壤侵蚀计算。通过输入降雨记录、NDVI、DEM、土壤类型图和土地利用图等,经过相应因子的选择,可以生成 RUSLE 因子和 CSLE 因子,之后再生产土壤侵蚀图以及计算出总侵蚀量,在此基础上,进行土壤侵蚀等级划分,以及各级别的统计。本系统能够提供土壤侵蚀的总体概况以及获取有用信息,有助于相关决策者更好地监控土壤流失以提供决策方案,从而为改善环境提供依据,通过种植草被、构建完整生物链、沟埂保护工程、坡地梯田工程、宣传水土保持和完善法规等措施减少土壤侵蚀。系统接下来将简化坡长的操作步骤,将砾石因子放入土壤可蚀性因子中以改善算法,以及增加沟蚀和风蚀因子,还有增加其他功能。

参考文献:

[1] 高江波,周巧富,常青. 基于 GIS 和土壤侵蚀方程的农业生态系统水土保持价值评估—以京津冀地区为例[J]. 北京大学学报:自然科学版,2008(2):77-82.

GAO J B,ZHOU Q F,CHANG Q, *et al.* Evaluating the ecological service function of soil conservation based on RUSLE and GIS[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*,2008(2):77-82. (in Chinese)

[2] SARO L. Soil erosion assessment and its verification using the universal soil loss equation and Geographic Information System:a case study at boun,Korea[J]. *Environmental Geology*, 2004,45:457-465.

[3] CHANDRAMOHAN T,DILIP G D. Estimation of soil erosion potential using soil loss equation[J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*,2002,30(4):181-190.

[4] 盛美玲,方海燕. WaTEM/SEDEM 模型及其应用研究进展与展望[J]. *地理科学进展*,2014,33(1):85-91.

SHENG M L,FANG H Y. Research progress in WaTEM/SEDEM model and its application prospect[J]. *Progress in Geography*,2014,33(1):85-91. (in Chinese)

[5] 张玉斌,郑粉莉,贾媛媛. WEPP 模型概述[J]. *水土保持研究*, 2004,11(4):146-149.

ZHANG Y B,ZHENG F L,JIA Y Y. WEPP model and its application[J]. *Research of Soil and Water Conservation*,2004,11 (4):146-149. (in Chinese)

[6] 董磊,彭明春,王崇云. 基于 USLE 和 GIS/RS 的滇池流域土壤侵蚀研究[J]. *水土保持研究*,2012,19(2):11-18.

DONG L,PENG M C,WANG C Y. Research on soil erosion based on the USLE model and RS/GIS in the Dianchi lake watershed[J]. Research of Soil and Water Conservation,2012,19(2):11-18. (in Chinese)

[7] 郑粉莉,刘峰,杨勤科,等. 土壤侵蚀预报模型研究进展[J]. 水土保持通报,2001,21(6):16-18.

ZHENG F L,LIU F,YANG Q K,*et al.* Review of research progress in soil erosion prediction model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2001,21(6):16-18. (in Chinese)

[8] 马修军. GIS 环境下流域降雨侵蚀动态模拟研究——以 PCRaster 系统和 LISEM 模型为例[J]. 环境科学进展,1999,7(50):137-143.

MA X J. Dynamic modeling soil erosion of a single rainfall event for drainge basings in GIS; take PCRaster system and LISEM model as example[J]. Advances in Environmental Science,1999,7(50):137-143. (in Chinese)

[9] DAVID P,DARREN S. Towards integrating GIS and catchment models[J]. Environmental Modelling & Software,2000,15:451-459.

[10] 祝赢,章文波,刘素红,等. 第一次全国水利普查侵蚀模数的批量计算方法[J]. 水土保持通报,2012,32(5):291-295.

ZHU Y,ZHANG W B,LIU S H. A batch computation method of soil erosion modulus in the first soil national water conservancy survey-design and application of water erosion modulus calculator based on CSLE and GIS[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2001,21(6):16-18. (in Chinese)

[11] 李清河,孙保平,孙立达. 黄土区小流域土壤侵蚀系统模拟的研究[J]. 水土保持学报,2002,16(3):1-4.

LI Q H,SUN B P,SUN L D. Study on soil erosion system's simulation of small watershed in Loess Area[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2002,16(3):1-4. (in Chinese)

[12] 陈涛,陈守贵. 基于 RS 和 GIS 的神府矿区水土流失分级研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(6):164-168.

CHEN T,CHEN S G. Classification of soil and water erosion in shenfu coal area based on Remote Sensing & GIS[J]. Journal of Northwest Forestry University,2011,26(6):164-168. (in Chinese)

[13] 贾俊姝,陈金莲,高欣,等. 基于 RUSLE 的大通县土壤侵蚀量估算[J]. 西北林学院学报,2012,27(2):56-61.

JIA J S,CHEN J L,GAO X,*et al.* Estimation of soil erosion based on RUSLE in Datong Count[J]. Journal o f Northwest Forestry University,2012,27(2):56-61. (in Chinese)

[14] 柳艺博,常庆瑞. RS 与 GIS 在东北黑土区土壤侵蚀研究中的应用[J]. 西北林学院学报,2009.,24(5):166-170.

LIU Y B,CHANG Q R. Application of RS and GIS on soil erosion research in black soil region of northeast China[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(5):166-170. (in Chinese)

[15] WISCHMEIER W H,SMITH D D. “Predicting rainfall erosion losses—A guide to conservation planning” Handbook No. 537 [M]. Washington DC: U. S. Dept of Agriculture, 1978.

[16] 刘森,胡远满,徐崇刚. 基于 GIS、RS 和 RUSLE 的林区土壤侵蚀定量研究——以大兴安岭呼中地区为例[J]. 水土保持研究,2004,11(3),21-24.

LIU M,HU Y M,XU C G. Quantitative study of forest soil erosion based on GIS, RS and RUSLE——a case study of Huzhong region,Daxing'anling[J]. Research of Soil and Water Conservation,2004,11(3),21-24. (in Chinese)

[17] MCCOOL,D K,BROWN L C,FOSTER G R,*et al.* Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation[J]. Transactions of the ASAE,1987,30(5):1387-1396.

[18] LIU B Y,NEARING M A,RISSE L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE,1994,37(6):1835-1840.

[19] 中华人民共和国水利部. 中国土壤侵蚀分类分级标准:SL190-2007[S]. 北京:中国水利水电出版社,2007.

[20] 路炳军,刘洪鹄,张波,等. 基于 GIS 的北京市土壤侵蚀量计算[J]. 中国水土保持科学,2011,9( 2):24-27.

LU B J,LIU H H,ZHANG B,*et al.* Calculation on soil erosion in Beijing City based on GIS[J]. Science of Soil and Water Conservation,2011,9( 2):24-27. (in Chinese)

[21] 郭伟. 北京地区生态系统服务价值遥感估算与景观格局优化预测[D]. 北京:北京林业大学,2012.