

# 不同土地利用模式下土壤侵蚀空间演化模拟

马力, 杨新民, 吴照柏, 杨世伟

(西北农林科技大学 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以 GIS 为技术支持, 完成了以元胞自动机 (CA) 为模型的基于土地利用变化的土壤侵蚀空间演化分析。通过对土地利用规划前和规划后不同利用模式制约下侵蚀发展状况的模拟, 预测了不同利用模式中各地块单元土壤侵蚀的发展方向, 为评价土地利用合理程度提供了理论依据。

关键词: GIS; 元胞自动机 (CA); 土壤侵蚀; 土地利用结构

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2003)01-0049-03

中图分类号: S157

## Spatial Evolution Imitation of Soil Erosion Influenced by Land-using Pattern

M A Li, YANG Xin-min, WU Zhao-bai, YANG Shi-wei

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, North West Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling Distrist 712100, Shaanxi Province, China)

**Abstract** Based on the GIS, the evolution of soil erosion which influenced by various land-using is analyzed. Through imitating the soil erosion evolution with cellular automata modeling before and after the land using plan, the evolution trend of soil erosion of each land area in land-using pattern is forecasted. This research provides a fundamental theory for assessing the degree of reasonable land-using.

**Keywords** GIS cellular automata; soil erosion; the structure of land-using

土地利用作为人类利用土地各种活动的综合反映和土壤侵蚀有着密切的联系, 土地利用改变了原有地表植被类型及其覆盖度和微地形, 从而影响了土壤侵蚀。科学准确地预测不同的土地利用类型土壤侵蚀发展方向是非常必要的。像许多地理现象一样, 土壤侵蚀发展是复杂的非线性系统, 现有的 GIS 和线性数学模型很难对此进行模拟, 因此需一种能分析土壤侵蚀空间演化内在规律的非线性模型来达到目的。区域科学的发展研究自 20 世纪 80 年代以来正由静态的、均衡的范式逐渐向一种动态演化的范式转变<sup>[3]</sup>, 开始应用复杂科学的理论研究和分析时空演化的内在规律。如神经网络、元胞自动机、分形学、随机布尔格网等。其中元胞自动机 (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。

元胞自动机 (Cellular Automata, 简称 CA) 是一种时间和空间都离散的动力系统, 散布在规则格网中的每一元胞都取有限的离散状态, 遵循同样的作用规则, 依据确定的局部规则作同步更新<sup>[1]</sup>。大量的元胞通过简单的相互作用而构成动态系统的演化, 不同于

一般的动力学模型, 元胞自动机不是由严格定义的物理方程或函数确定, 而是用一系列模型构造的规则构成。元胞自动机最基本的组成为: 元胞、状态、邻居及基本规则 4 部分。元胞又称单元, 是元胞自动机最基本的组成部分, 离散分布在在一维、二维或多维的欧几里德空间网格点上, 构成一个元胞空间; 元胞在某一时刻只能保持一种状态, 一般取自有限集合  $\{s_0, s_1, s_2, \dots, s_k\}$ ; 邻居是按元胞周围一定的形状划定的元胞集合, 它们影响元胞下一时刻的状态; 规则就是元胞的状态转移函数, 这个函数构造了一种简单、离散的空间-时间范围的局部物理成分。CA 是一个动态系统, 它在时间维上的变化是离散的, 不具有物理意义。用集合语言可将 CA 模型描述如下<sup>[2]</sup>:

$$S_{t+1} = f(S_t, N)$$

式中:  $S$ ——有限集合, 代表细胞状态;  $N$ ——细胞邻域;  $t$ ——时间;  $f$ ——局部转换规则。

从元胞自动机的构成和规则上分析, 模型一般具有如下特点: (1) 模型的灵活性。元胞自动机是一个模型框架, 没有一个既定的物理方程或者函数, 仅仅遵守一定的原则, 因此具有很好的灵活性和开放性。(2) 时间和空间的离散性。元胞是离散的分布在按

照一定规则划分的空间网格上,系统的演化是按照等间隔时间分步进行的,时间变量只能取等步长的时刻点。由于其空间和时间的离散性,很适于在计算机上模拟。(3) 状态是离散和有限的,元胞自动机的状态只能取有限个离散值 ( $S_1, S_2, S_3, \dots, S_k$ ), 因此在实际应用中,需要将一些连续变量进行离散化,便于建立模型。(4) CA模型的数据结构相似于 GIS的栅格数据结构,易于同 GIS结合。

## 1 土壤侵蚀发展模拟 CA模型构建

### 1.1 元胞状态

依据水利部土壤侵蚀等级的划分标准,将土壤侵蚀分为 6 级,即微度侵蚀/无明显侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀、剧烈侵蚀。由于研究区内没有剧烈侵蚀,所以本次研究只取前 5 级。不同等级的状态值用集合  $\{1, 2, 3, 4, 5\}$  表示。在模拟中不同侵蚀元胞用如下图符表示(各元胞所占栅格单元面积为  $80\text{ m} \times 80\text{ m}$ )。



元胞下一时刻的状态值,由当前时刻本身状态和邻居状态决定,求解规则由下式表示:

$$\text{元胞下一时刻的状态值} = (\text{元胞当前状态值} + \text{邻居状态值总和}) / (\text{邻居个数} + 1)$$

### 1.2 元胞活力值

给每个元胞赋予生命特征,遵循生命轮回。将每个元胞分为“青年”、“中年”和“老年”3个阶段。在某个时刻,所有的元胞可以分为相应的 3 种类型,不同类型的单元产生随之产生不同的行为规则,如青年元胞可产生新元胞,老年元胞可死亡。对于活力值的确定采用基于概率的随机方法<sup>[1]</sup>。一个单元的年龄越小,所处地类的权重越小,则其属于青年的概率越大;反之,一个单元的年龄越大,所处地类的权重越大,则其属于老年的概率越大。确定出概率后,采用蒙特卡罗方法确定该单元的活力值<sup>[1]</sup>。蒙特卡罗方法就是设定某一事件的可能结果为  $E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}$ ,各自发生的概率为  $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ ,根据事件各自的概率值大小,将其分别映射到  $R = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_n\}$  区间上,区间长度与概率大小呈

线性正比关系,然后在该区间内任意产生一随机数  $x$ ,若  $x \in r_i$  则认为  $e_i$  发生了 1 次。

### 1.3 元胞邻居的确定

本次研究定义元胞的邻居为半径为 1 的 8 邻域(如图 1)

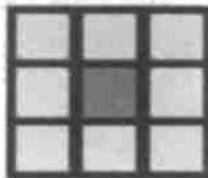


图 1 元胞邻居图

### 1.4 产生新生侵蚀元胞

当一个元胞活力值为青年时,可作为一个母体产生一个新生的侵蚀元胞。

(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结合专家经验规定产生母体等级的概率为 0.4,产生元胞的侵蚀等级和母体等级之差为 + 和 - 的概率都为 0.20,相差为 + 2 和 - 2 的概率都为 0.10,相差绝对值大于 2 的概率为 0.05。然后采用蒙特卡罗方法确定其类型。

(2) 新生元胞位置确定。在模型中,针对不同类型的单元,设定其产生新单元的最大距离为  $d_{\max}$ ,在这里  $d_{\max} = 3$ ,那么新生单元到母体的距离  $d_{jk}$  则可取区间  $[1, d_{\max}]$  任意整数,则相应的  $d_{jk}$  的概率可采用如下线性衰减函数计算:

$$\prod(d_{jk}) = 2(d_{\max} - d_{jk} + 1) / [d_{\max}(d_{\max} + 1)]$$

对于新生单元相对于母体的 8 个方向的概率都将其设为 1/8。有了距离和方向的概率就可采用蒙特卡罗方法方法确定具体的距离和方向。

(3) 新生元胞生存条件检查。如果产生的新生元胞所在位置已被占用则认为此次新生单元产生失败,或者,新生元胞等级和邻居等级平均值相差大于 2 也认为其产生失败。

## 2 不同土地利用类型对土壤侵蚀影响权重确定

研究表明,黄土高原各类型土地对土壤侵蚀影响的权重有水体 > 林地 > 果园 > 草地 > 耕地 > 荒地/居民地<sup>[4]</sup>。利用上述研究结果采用层次分析法结合专家经验确定 2 级地类对侵蚀影响的权重(见表 1)。

表 1 不同土地利用类型对土壤侵蚀影响的权重

地类	权重	地类	权重
坝淤地	0.045	疏林地	0.059
川旱地	0.045	未成林造林地	0.059
沟台旱地	0.044	天然草地	0.047
梯旱地	0.045	居民地	0.013
坡旱地	0.040	工矿地	0.013
菜园	0.045	河流水面	0.111
果园	0.053	水库水面	0.111
有林地	0.088	荒草地	0.033
灌木林地	0.088	裸岩石砾地	0.013

## 3 实例分析

### 3.1 研究区概况及土地利用调整

县南沟流域位于陕西省安塞县南部,延安示范区北部,流域总面积  $44.58\text{ km}^2$ 。2001 年农户 527 户,人口 2215 人。耕地  $1100.51\text{ hm}^2$ ,其中基本农田  $508.35$

hm<sup>2</sup>,粮食单产 2 638.5 kg/hm<sup>2</sup>;林地 1 273.35 hm<sup>2</sup>,草地 1 215.4 hm<sup>2</sup>。为充分发挥流域土地生产潜力,兼顾经济效益与生态效益的同时,我们对县南沟流域土地利用作了适当的调整(见表 2)

表 2 土地利用面积统计

地类	土地利用现状		土地利用规划	
	面积 /hm <sup>2</sup>	百分比 /%	面积 /hm <sup>2</sup>	百分比 /%
基本农田	508.35	11.40	508.35	11.40
坡耕地	592.16	13.28	4.98	0.11
果园	241.88	5.43	521.70	11.70
林地	1 273.35	28.56	1 822.18	40.87
草地	1 215.40	27.26	1 403.91	31.49
居民地	63.78	1.43	63.78	1.43
水域	55.55	1.25	54.96	1.23
未利用地	508.02	11.39	78.63	1.76
合计	4 458.49	100.0	4 458.49	100.00



(a)现状土地利用



(b)规划土地利用

图 2 水土流失发展模拟结果

表 3 不同土地利用模式中度以上侵蚀发展状况

地类	调整前发展状况		调整后发展状况	
	侵蚀面积 / 占该地类		侵蚀面积 / 占该地类	
	hm <sup>2</sup>	面积 /%	hm <sup>2</sup>	面积 /%
基本农田	41.60	8.18	20.60	4.05
坡耕地	128.00	21.62	0.64	12.85
果园	24.96	10.32	22.30	4.27
林地	99.84	13.84	125.70	6.90
草地	512.00	42.13	246.90	17.59
居民地	3.28	5.14	3.28	5.14
水域	8.68	15.80	8.68	15.79
未利用地	504.32	99.27	38.40	48.84

## 4 结 论

本次研究,采用 GIS结合地理元胞自动机模型预测不同土地利用模式下水土流失发展状况,定量地研究了各土地利用模式水土流失发展趋势。并对县南沟流域进行了实例分析,预测出 10 a后整个流域中度以上侵蚀在现状土地利用状况下面积比发展到

## 3.2 水土流失发展模拟

本次研究采用 Mapinfo 作为平台,用 Delphi 设计程序来预测县南沟流域的水土流失发展状况。首先将土地利用现状图和规划图分别与元胞图层叠加,通过 2 次程序运行模拟在现状土地利用限制下和规划土地利用限制下 10 a后水土流失发展状况。10 a后水土流失发展模拟结果如图 2 所示。

采用 Mapinfo 空间分析功能对模拟图进行分析,计算得各地类中度以上侵蚀发展状况统计如下表(见表 3)。从表中可看出除居民地与水域在现状和规划用地下侵蚀发展面积基本相等外,其余均有较大差异。从 2 种土地利用模式的水土流失发展状况可看出,规划后各类型土地侵蚀面积比基本上小于规划前的侵蚀面积比。说明规划后土地利用模式制约水土流失发展,具有较好的生态效益。

34.42%,而同样的时间期限规划后侵蚀面积比发展到 10.46%。这主要是由于流域内减少了大量的坡耕地,以及扩大了林地种植面积的结果。

采用 CA 模型利用计算机模拟水土流失发展,不仅可以预测出其发展趋势,而且可以观察到整个时期内水土流失的发展过程。有助于我们对不同土地利用类型的水土流失演化比较分析。

### [参 考 文 献]

- [1] 周成虎,孙战利,谢一春著.地理元胞自动机研究[M].北京:科学出版社,2001.
- [2] 张显峰,崔伟宏.集成 GIS和细胞自动机模型进行地理时空过程模拟与预测的新方法[J].测绘学报,2001,31(2): 148- 155.
- [3] 薛领,杨开忠.复杂性科学理论与区域空间演化模拟研究[J].地理研究,2002,21(1): 86- 87.
- [4] 倪晋仁,李英奎.基于土地利用结构变化的水土流失动态评估[J].地理学报,2001,56(5): 611- 621.