

基于 CA 模型的土壤盐渍化时空演变模拟与预测

史晓霞, 李 京, 陈云浩*, 国巧真

(北京师范大学资源学院资源技术与工程研究所, 北京 100875)

摘要: 土壤盐渍化是干旱半干旱区土地退化的主要形式之一, 其发生发展是一个复杂的非线性动力学过程。该文通过对吉林省长岭县土壤盐渍化成因及特征分析, 确定土壤盐渍化影响因子及动态机制, 并利用地理元胞自动机对复杂系统时空动态演化过程具有较强的计算及模拟能力特点, 在 GIS 与 RS 支持下, 建立土壤盐渍化 CA 动态模型, 即土壤盐渍化地理元胞自动机模型(GeoCA-Salinization), 并结合相关属性数据和空间数据, 模拟长岭县土壤盐渍化发生发展的时空动态规律, 并对今后的可能发展做出预测。结果表明: 基于 GeoCA-Salinization 模型对长岭县土壤盐渍化时空演变进行的模拟与实际情况基本吻合, 同时基于该模型的土壤盐渍化时空演变预测符合当前的发展态势。与其他方法相比, 该方法能更好地实现任意有效离散时间距与瞬时动态可视化表达的结合, 是土壤盐渍化时空演变模拟与预测较为有效的方法。

关键词: 土壤盐渍化; GeoCA-Salinization 模型; 空间数据; 长岭县

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2007)1-0006-07

史晓霞, 李 京, 陈云浩, 等. 基于 CA 模型的土壤盐渍化时空演变模拟与预测[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 6-12.

Shi Xiaoxia, Li Jing, Chen Yunhao, et al. Simulation and prediction of the spatial-temporal evolution of soil-salinization based on Cellular Automata(CA) model[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(1): 6-12. (in Chinese with English abstract)

0 引言

随着全球气候变暖, 干旱半干旱区土壤盐渍化日益严重, 具体表现为盐渍化土地面积不断扩展, 盐渍化程度日益加剧, 重度盐渍化土地呈增长趋势, 无利用价值碱斑面积扩大, 严重影响土地生产力提高和国民经济发展。

地学技术发展推动了土壤盐渍化研究进展, 各国地学专家学者针对不同研究区, 从静态和动态角度研究土壤盐渍化。从静态角度, 微波、高光谱、雷达等遥感手段与 GIS、专家系统等相结合应用于盐渍化土壤识别、制图与管理^[1-5]。从动态角度, 土壤盐渍化研究主要集中在监测和预报方面。其中, 基于 GIS、RS 等的土壤盐渍化监测研究相对较多, 例如, 澳大利亚的 Harri Kiiveri 等利用条件概率网络的土壤融合来监测盐渍化土壤^[6]; Metternicht 等人从理论上的可行性与制约性到利用 JERS-1 SAR 数据的模糊分类方法进行基于制图的动态监测研究^[7-10]。国内骆玉霞等、刘高焕等分别利用遥

感影像进行盐渍化动态监测研究与分析, 取得了很好的成果^[11-17]。而土壤盐渍化动态模拟与预测研究相对较少, Metternicht 结合 RS、GIS 及专家系统对盐渍化土壤进行了模拟与预测^[18]。李凤全等以吉林省西部半干旱区为例, 将数学模型与 GIS 及神经网络相结合建立土壤盐渍化监测与预报模型^[19,20]。但目前的土壤盐渍化宏观动态模拟预测方法, 在任意离散时间距及瞬时动态可视化表达方面仍存在很大缺陷, 无法实现即时可视化表达的任意时间距控制。地理元胞自动机(Geo-CA)对复杂的非线性动力学过程具有较强模拟能力, 并易于与 GIS、RS 等空间信息技术相结合, 被广泛应用于地学领域的城市扩展、土地利用变化以及林火模拟、滑坡等各类现象的时空演变模拟^[21-23]。将 CA 模型用于土壤盐渍化的时空演变模拟与预测, 是 CA 模型在地学领域应用的扩展, 是一项新的理论探索与尝试。

长岭县位于吉林省西部, 土壤盐渍化较严重、比较典型。对土壤盐渍化监测与预测, 仅针对其过去的动态变化进行识别、制图或从微观角度进行基于水盐动态模型的模拟预测是不够的, 还需对未来从宏观角度, 将土壤盐渍化研究放在时空一体化中, 把握土壤盐渍化时空变化, 以确保农业可持续发展^[24]。本文通过对该区土壤盐渍化系统特征分析, 确定形成因子及影响因子, 设定土壤盐渍化 CA 模型, 在 GIS 及 RS 技术支持下, 从宏观动态的角度对土壤盐渍化时空变化进行模拟, 并对今后可能发展做出预测, 为土壤盐渍化防治决策提供支持

收稿日期: 2006-01-16 修订日期: 2006-08-15

基金项目: 科技部政府间科技合作项目(CHN-24/2004); 三维信息获取与应用教育部重点实验室基金资助

作者简介: 史晓霞(1978-), 女, 吉林白山人, 博士生, 主要从事遥感与 GIS 地学应用模型研究。北京 北京师范大学资源学院资源技术与工程研究所, 100875。Email: shixx@ires.cn

*通讯作者: 陈云浩, 北京 北京师范大学资源学院资源技术与工程研究所, 100875。Email: cyh@ires.cn

系统, 为实现该区社会经济可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

长岭县位于吉林省西部, 地处松嫩平原南端。地理坐标: 123°06'E~124°45'E, 43°59'N~44°42'N。中温带大陆性季风气候, 自东南向西北由半湿润气候区过渡为半干旱气候区。干旱少雨, 多年平均降雨量为 462.75 mm, 由东南向西北递减为 70~80 mm, 且全年降雨集中在 6~8 月份, 占全年降雨量的 69%, 多年平均蒸发量为 1614.52 mm, 是降水量的 3.5 倍。干燥度自西北向东南递减。县内无常年性天然河流, 只有几条季节性小河, 地表水贫乏, 受气候影响, 春季多风少雨, 造成春旱风蚀。长岭县内地层自老至新分布有白垩系、上第三系、第四系。长岭县在大地构造上属松辽拗陷的东南部沉积带, 白垩纪时期为一古洼地, 湖相沉积物具厚, 后来燕山期和喜山期的构造运动使白垩纪地层发生褶皱和断裂, 成为本县的基地构造。以此基地构造为基础形成了质地黏重的黏土、亚黏土、细沙和粉沙土, 在气候环境长期作用下, 使得整个长岭县内的土壤为苏打盐土。

1.2 数据来源

所需数据包括 Landsat TM 影像; 2000 年长岭县行政区划图、土壤图、土地利用图、土壤盐渍化程度等级图以及长岭县计算分区图等; 等高线数据、地下水埋深等值线、矿化度等值线等图形数据; 长岭县 1954 年~2004 年降雨量与蒸发量资料以及野外调查数据。

2 土壤盐渍化系统特征分析

2.1 土壤盐渍化预测模型

通过对长岭县土壤盐渍化系统特征分析发现, 长岭县常年干旱少雨, 地表水匮乏, 系统内无外流河, 只有几条季节性的小河流, 因此本研究中地表径流对土壤盐渍化不产生直接影响。土壤盐分带入主要有降水带入盐分和地下水径流带入盐分; 土壤盐分带出主要有地下水蒸发带出盐分和地下水径流带出盐分^[14]。长岭县地区土壤盐分预测模型简化定义如下:

$$\begin{aligned}
 S_{t1} &= S_0 + \Delta S \cdot t \\
 &= S_0 + (S_1 - S_2) \cdot t \\
 &= S_0 + (Q_{c1} + Q_{c2} - Q_{c3} - Q_{c4})/2000r \cdot t \\
 &= S_0 + (a \cdot X \cdot F/10 \cdot C_1 \times 10^{-4} + 365L \cdot H \\
 &\quad \cdot K \cdot J \cdot C_2 \times 10^{-4} - 10\epsilon FC_3 - 365L \cdot T \cdot \\
 &\quad J \cdot \cos\alpha C_4 \times 10^{-4})/2000r \cdot t \quad (1)
 \end{aligned}$$

式中 S_{t1} ——预测年的土壤含盐量, %; S_0 ——初始土壤含盐量, %; ΔS ——积盐率与脱盐率之差, %/a; t ——预测时间长度, a; Q_{c1} ——大气降水入渗盐分; Q_{c2} ——侧向径流补给盐分; Q_{c3} ——潜水蒸发带出盐分; Q_{c4} ——侧向径流带出盐分; a ——降水入渗补给系数; F ——计算区面积, km²; X ——年降水量, mm; L ——计算断面宽度, m; H ——含水层平均厚度, m; K ——平均渗水系数, m/d; J ——水力坡度, ‰; ϵ ——蒸发量, mm; T ——含水层平均导水系数, m²/d; α ——地下水流向与断面法线夹角, (°); C ——矿化度, mg/L。

土壤盐分预测模型相关参数, 依据长岭县地质、地貌特征和水文地质条件, 按流域划分资源计算分区, 全区按流域划分为 2 个计算区, 6 个计算亚区, 15 个计算段, 见表 1 及图 1。降水入渗系数 (a) 采用水位升幅法, 分别利用依次、汛期和年水位升幅及降雨资料进行计算。其他相关潜水及地下水侧向径流影响参数分别见表 1 和表 2。

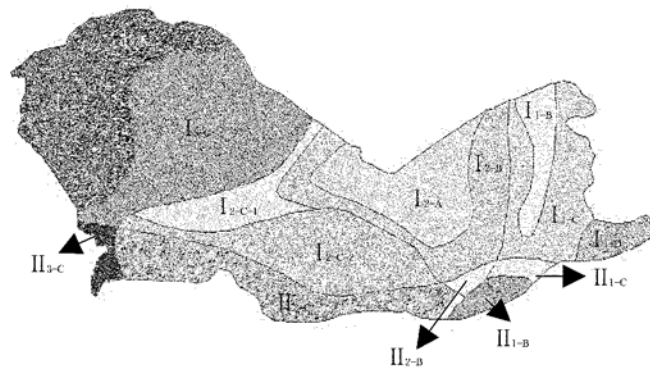


图 1 长岭县计算分区

Fig. 1 Calculating subarea in Changling County

表 1 计算分区及相关参数

Table 1 Calculating subarea and correlative parameters

区	I									II					
	I ₁			I ₂				I ₃			II ₁		II ₂		II ₃
亚区	I _{1-B}	I _{1-C}	I _{1-D}	I _{2-A}	I _{2-B}	I _{2-C-1}	I _{2-C-2}	I _{3-A}	I _{3-B}	I _{3-C}	II _{1-B}	II _{1-C}	II _{2-B}	II _{2-C}	II _{3-C}
$K/m \cdot d^{-1}$	22.86	19.25	0.74	22.86	19.25	14	9.51	4.86	5.39	15.27	5.91	4.83	9.51	5.93	4.83
F/km^2	168	474	115	553	570	318	669	615	516	1007	97	35	36	482	73
H/m	12	6	2	9	9	9	9	15	15	15	11.5	6	9	9	10
a	0.221	0.221	0.221	0.15	0.15	0.15	0.15	0.12	0.12	0.12	0.221	0.221	0.15	0.15	0.12

表 2 地下水侧向径流参数表

Table 2 Lateral flow parameters of ground water

断面	L /m	T / $m^2 \cdot d^{-1}$	J /‰	$\alpha/(^\circ)$
A-A	35000	142	0.3	0
C-C	23000	109	0.6	50
D-D	42000	105	2.1	30
E-E	20000	299	2	20
F-F	28000	248	1.5	20

2.2 土壤盐渍化程度与影响因素关系

长岭县土壤盐渍化的形成,除直接形成因子外,还有影响因子。这些影响因子主要有地形地貌、地下水位埋深、地下水矿化度。他们与土壤盐渍化程度及比率量有密切关系(表 3~6)。

表 3 土壤盐渍化预测系数分级标准

Table 3 Classification criterion of prediction coefficient of soil-salinization

土壤盐渍化程度	潜在盐渍化	轻度盐渍化	中度盐渍化	重度盐渍化
预报系数/%	< 0.1	0.1~ 0.4	0.4~ 0.6	> 0.6

表 4 长岭县地下水埋深与土壤盐渍化关系

Table 4 Relationships between ground water table and soil-salinization in Changling County

地下水埋深 /m	重度盐渍化 /%	中度盐渍化 /%	轻度盐渍化 /%	非盐渍化 /%
> 6	0	0	0	100
2.4~ 6	0	0	25	75
2.0~ 2.4	0	10	35	55
1.8~ 2.0	5	15	65	15
1.4~ 1.8	10	65	25	0
1.0~ 1.4	65	25	10	0

表 5 长岭县地下水矿化度与土壤盐渍化关系

Table 5 Relationships between ground water mineralization and soil-salinization in Changling County

矿化度 / $mg \cdot L^{-1}$	重度盐渍化 /%	中度盐渍化 /%	轻度盐渍化 /%	非盐渍化 /%
< 300	0	0	0	100
300~ 600	0	0	15	85
600~ 800	0	0	65	35
800~ 1000	0	15	75	10
1000~ 3000	25	75	0	0
3000~ 6000	75	25	0	0
> 6000	85	15	0	0

表 6 长岭县地形地貌与土壤盐渍化关系

Table 6 Relationships between terrain and soil-salinization in Changling County

坡度/($^\circ$)	< 3	3~ 7	7~ 15	15~ 25	> 25
盐渍化程度	重度	中度	轻度	潜在	无

综合地下水位埋深、地下水矿化度、地形地貌 3 种影响因子,将单因子的相对限制性转化为多因素综合作用而产生的绝对限制:不可能发生盐渍化土壤限制层 A (见图 2),轻度盐渍化限制层 B,中度盐渍化限制层 C,重度盐渍化限制层 D。

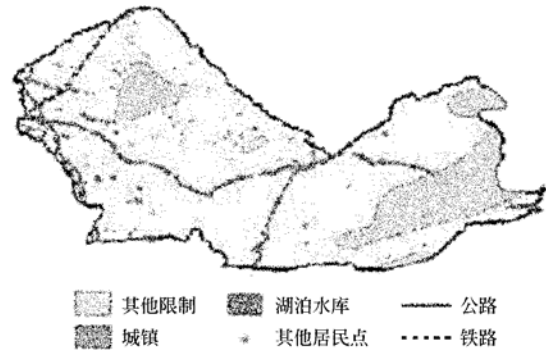


图 2 不可能发生盐渍化土壤图层

Fig. 2 Unable salinization soil layer

3 GeoCA-Salinization 模型设定

本文主要研究自然驱动力下的 GeoCA-Salinization 模型,即不考虑人为因素所产生的影响;土壤的质地是均一的,即不考虑不同质地土壤在盐渍化形成过程中的快慢差异;只考虑土壤元胞所含盐分的一维垂直运动,即不考虑盐分的水平扩散^[25-30]。

3.1 元胞空间

本研究区的总面积为 5728.4 km²,结合实际研究区面积, TM 影像分辨率以及 GIS 中的栅格结构,将元胞大小定义为 30 m × 30 m。对于混合元胞,依据土壤盐渍化系统特征,采用面积占优法进行状态赋值。

3.2 邻居定义

邻居定义采取标准的 Moore 模型,即每个中心元胞有 8 个邻居元胞,在模型中,邻居的状态对中心元胞的状态及转化产生一定的影响。

3.3 元胞状态

结合土壤实际状态和前人对土壤盐渍化程度等级划分,将元胞状态分为 5 种:0 代表不可能发生盐渍化土壤;1 代表潜在盐渍化土壤;2 代表轻度盐渍化土壤;3 代表中度盐渍化土壤;4 代表重度盐渍化土壤。

确定元胞状态后即可确定邻居细胞影响权重。假设非、潜在、轻度、中度、重度盐渍化元胞对中心元胞影响权重分别为 X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 , 则中心细胞状态概率 P 为

$$P = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5 \quad (2)$$

$$a + b + c + d + e = 8$$

P 的取值为 1,即中心元胞分别为不同状态时,8 个邻居元胞对其总贡献概率为 1。建立一个 3 × 3 窗口,不

考虑元胞影响的方向性差异, 只考虑元胞状态个数不同的影响, 中心元胞的每种状态选用 6 组, 即 60 个窗口位置。取 6 组 N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 的平均值作为权重值。每个中心元胞共有 5 种状态, 则共需选用 300 个窗口位置计算权重。根据不同状态中心细胞所对应的不同状态的邻居权重乘以所求得的不同状态的邻居细胞的土壤含盐量, 求出中心细胞的土壤含盐量 S_{i2} 。将 S_{i2} 和直接通过盐分预测公式 (1) 求得的 S_{i1} 取平均值, 作为中心元胞的含盐量值 S_i , 即

$$S_i = \frac{S_{i1} + S_{i2}}{2} \quad (3)$$

3.4 转换规则

根据长岭县土壤盐渍化特性, 将元胞的 S_i 值按土壤含盐量预测系数分级标准(表 3) 进行等级划分。50 代表不可能发生土壤盐渍化细胞; 51 代表 $S_i \leq 0.1\%$; 52 代表 $0.1\% < S_i \leq 0.4\%$; 53 代表 $0.4\% < S_i \leq 0.6\%$; 54 代表 $S_i > 0.6\%$ 。

设 t 时刻元胞状态 $n_{i,j}(t)$ 为 m ; $t+1$ 时刻元胞状态为 n ; $t+1$ 时刻元胞土壤含盐量 $S(t+1)_{i,j}$ 为 S , 则土壤盐渍化 CA 模型的转换规则可进行如下定义(图 3)。

3.5 时间设定

由于影响土壤中含盐量参数的变化具有长时间效应, 因此, 结合长岭县土壤盐渍化系统实际特点和数据变化周期及可视化效果, 将时间 t 定为 20 年间隔段。以 2000 年为基准年模拟 1980 年长岭县土壤盐渍化时空分布, 并预测 2020 年长岭县土壤盐渍化时空演变特征。土壤盐渍化具有一定的时段性, 本研究选择 4 月份, 土壤返盐、盐渍化比较明显的时期作为研究期。

4 结果分析

4.1 相关数据处理

1) 元胞初始状态确定

借助 GPS, 在 2004 年 4 月通过野外采样取得 100 个点的土壤样品, 通过电导率测定求出含盐量, 如表 7 所示部分数据。根据土壤含盐量预测公式(1)和已有的模型参数、数据, 确定 2000 年长岭县盐渍化土壤的含盐量, 通过插值方式结合土壤盐分与盐渍化程度之间的关系确定元胞初始状态。

2) 降雨量与蒸发量预测模型

年降水量 X 与蒸发量 E 是土壤盐分变化公式中的变量值, 各年份的 $\Delta S \cdot t$ 的值是由降雨量和蒸发量的变化决定的。由于本研究是对长岭县 4 月份的土壤盐渍化进行的研究, 因此, 利用长岭县 1954~ 2003 年 4 月份的降雨量和蒸发量数据(表 8) 确定降雨量和蒸发量预测模型。

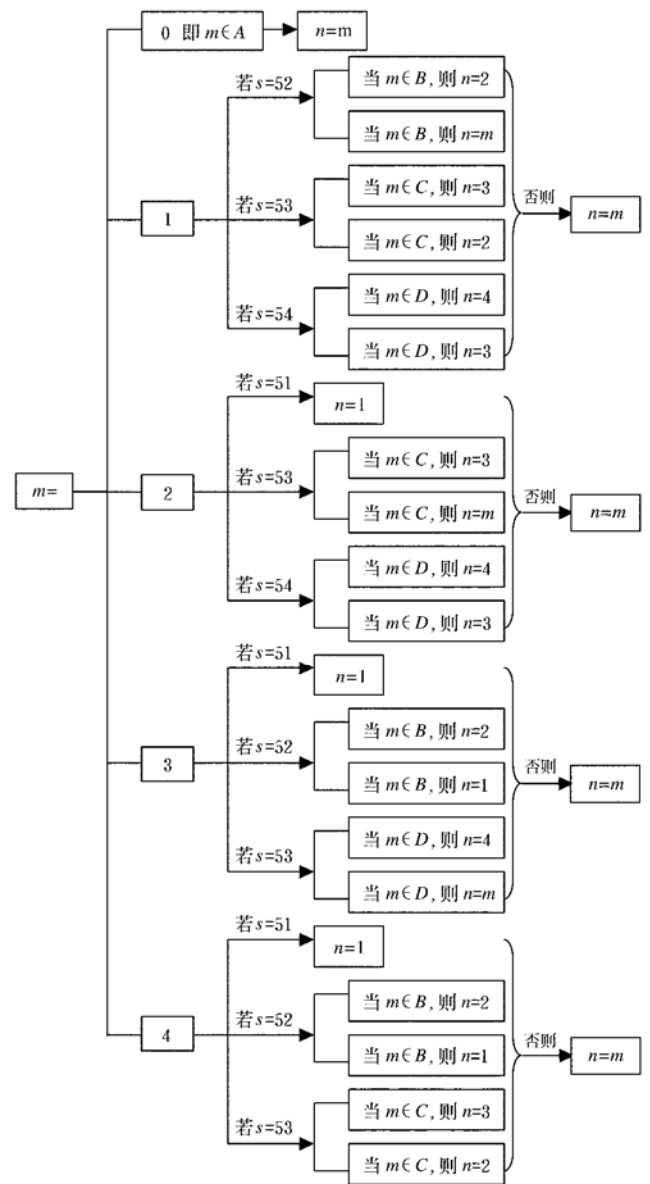


图 3 GeoCA-Salinization 模型转换规则

Fig. 3 Transformation rule of GeoCA-Salinization model

表 7 部分土壤采样点电导率和含盐量

Table 7 Electric conductivity and salinity of some soil samples

采样点	电导率 /ms · cm ⁻¹	苏打盐土盐分/%	采样点	电导率 /ms · cm ⁻¹	苏打盐土盐分/%
1	0.598	0.17	17	2.540	0.74
2	0.750	0.22	18	2.610	0.76
3	0.759	0.22	19	2.650	0.77
4	0.929	0.27	20	2.650	0.77
5	1.345	0.39	21	2.705	0.79
6	1.448	0.42	22	2.795	0.82
7	1.469	0.43	23	2.805	0.82
8	1.483	0.43	24	2.815	0.82
9	1.489	0.43	25	2.875	0.84
10	1.631	0.47	26	2.910	0.85
11	2.005	0.58	27	2.975	0.87

采样点	电导率 /ms · cm ⁻¹	苏打盐土盐分/%	采样点	电导率 /ms · cm ⁻¹	苏打盐土盐分/%
12	2.060	0.60	28	3.080	0.90
13	2.115	0.62	29	3.225	0.94
14	2.230	0.65	30	3.340	0.98
15	2.390	0.70	31	3.555	1.04
16	2.410	0.70	32	4.605	1.35

表 8 1954~2003 年长岭县降雨量与蒸发量

Table 8 Precipitation and evaporation in Changling County from 1954 to 2003 mm

年份	降雨	蒸发	年份	降雨	蒸发	年份	降雨	蒸发
1954	0.5	195.5	1971	1.3	287.0	1988	14.2	185.8
1955	13	167.2	1972	6.4	98.8	1989	15.9	234.2
1956	21.9	208.6	1973	6.8	234.9	1990	45.6	181.4
1957	12.1	180.9	1974	13.9	192.8	1991	30.8	207.7
1958	20.0	219.7	1975	4.9	248.1	1992	10.4	201.2
1959	34.8	188.5	1976	19.6	178	1993	3.1	200.5
1960	5.8	202.5	1977	2.5	251.1	1994	0.3	253.3
1961	10.1	211.4	1978	25.7	237.3	1995	5.3	214.9
1962	15.1	178.2	1979	40.5	164.0	1996	62.2	186.3
1963	5.2	227.6	1980	16.1	185.1	1997	7.4	215.6
1964	12.1	179.1	1981	1.7	233.5	1998	3.3	226.4
1965	3.4	233.1	1982	12.4	237.4	1999	5.3	197.8
1966	6.8	194.2	1983	120.9	298.7	2000	12.8	194.8
1967	32.0	181.9	1984	19.6	196.6	2001	2.3	290.6
1968	11.9	261.0	1985	17.8	198.6	2002	49.4	204.4
1969	54.6	197.1	1986	9.2	209.0	2003	0.6	277.1
1970	5.7	240.0	1987	4.3	221.6			

长岭县 4 月份降雨量、蒸发量的 ARMA 模型分别为

① 降水

$$\hat{y}_t = 0.0186932 + 0.769933y_{T+t-1} - 0.13964y_{T+t-4} + 0.08607y_{T+t-3} + 0.154568e_{T+t-1} - 0.1183Te_{T+t-2} \quad (4)$$

残差序列检验 $\{\epsilon_t\}$, $Q = 14.72$, 查自由度 $f = 50$, $\alpha = 0.05$ 时 $\chi^2 = 43.8$, $Q < \chi^2_{\alpha=0.05}$, 故可以为在较显著性水平下残差序列 $\{\epsilon_t\}$ 为白噪声, 且接受假设。

$AIC = 54.173$, 剩余方差 = 1.399, 相关系数 = 0.7893, 拟合度 = 73.66%。

② 蒸发

$$\hat{y}_t = 0.02358 + 0.6789y_{T+t-2} - 0.33674y_{T+t-3} + e_{T+t} + 0.23567e_{T+t-1} + 0.3394e_{T+t-2} \quad (5)$$

残差序列 $\{\epsilon_t\}$ 检验: $Q = 12.33$, 查自由度 f , $\alpha = 0.05$ 时 $\chi^2 = 43.8$, $Q < \chi^2_{\alpha=0.05}$, 故可以认为在较显著性水平下残差序列 $\{\epsilon_t\}$ 为白噪声。

$AIC = 46.175$, 剩余方差 = 1.3681, 相关系数 =

0.8315, 拟合度 = 68.52%。

通过结果可以看出, 降雨量与蒸发量的拟合度都在 70% 左右, 基本可以满足本研究的需要。

4.2 长岭县土壤盐渍化模拟与预测

以 2000 年长岭县土壤盐渍化等级程度数据为元胞初始状态, 其他相关数据为基础数据。利用 1956 年~2003 年相关空间数据和统计资料数据, 首先对 1980 年的长岭县土壤盐渍化在自然驱动力下空间形态进行模拟。而后利用已有的相关数据和资料对 2020 年土壤盐渍化时空演变进行了预测(见图 4)。



图 4 CA 模型模拟的 2020 年长岭县土壤盐渍化分布

Fig. 4 Soil-salinization distribution simulation of Changling County in 2020 based on GeoCA-Salinization model

1980 年长岭县盐渍化土地总面积为 789.31 km², 占长岭县土地总面积的 13.76%。通过软件中元胞统计的计算功能, 模拟的 1980 年土壤盐渍化面积为 812.3 km²。

2000 年长岭县盐渍化土地总面积为 877.92 km², 占长岭县土地总面积的 15.32%。通过 CA 模型预测的 2020 年长岭县土地盐渍化总面积为 910.03 km², 占长岭县土地总面积 15.88%。从对 2020 年长岭县土壤盐渍化空间分布所做出的预测可以看出, 盐渍化土地面积有所增加, 但增加面积不大, 潜在、轻度、中度盐渍化面积有所增加, 但重度盐渍化面积缩小。长岭县西部的盐渍化程度有减轻趋势, 但南部边界地区的土地盐渍化程度在加剧。

4 结论

1) 本文所建立的土壤盐渍化 CA 模型, 即 GeoCA-Salinization 模型, 基本反映了长岭县土壤盐渍化时空演变的机理, 确定了土壤盐渍化发展变化的主要自然驱动力因子。

2) 建立了适合 CA 模型运行的长岭县土壤盐分预测模型, 并将该模型及所涉及的空间数据与属性数据与 CA 模型进行了有效的结合。

3) 充分利用了 GIS 的数据库存储及管理功能, 将其与 CA 模型相结合。

4) 1980 年的长岭县土壤盐渍化空间分布的模拟结果与实际的空间分布进行比较可以看出, 该系统基本符合长岭县土壤盐渍化系统变化的特点。

5) 从对 2020 年长岭县土壤盐渍化空间分布所做出的预测可以看出, 盐渍化土地面积有所增加, 但增加面积不大, 潜在、轻度、中度盐渍化面积有所增加, 但重度盐渍化面积缩小。长岭县西部的盐渍化程度有减轻趋势, 但南部边界地区的土地盐渍化程度在加剧。

本研究中, 模型的建立过程及实际运行过程存在很多困难, 主要在于空间数据及属性数据与模型的结合方面。盐渍化 CA 模型的设定涉及多个数学模型, 这些模型又存在众多的参数, 因此增加了属性数据的复杂性及其与空间数据及 CA 模型相结合的难度, 而任一参数的变化在一定程度上都可能对模型的模拟及预测结果产生重要的影响, 因此对属性数据的确定提出了高精度的要求。

[参 考 文 献]

- [1] Ladenburger C G, Hild A L, Kazmer D J, et al. Soil salinity patterns in Tamarix invasions in the Bighorn Basin, Wyoming, USA[J]. *Journal of Arid Environment*, 2006, 65(1): 111- 128.
- [2] SAYSAL Ali Kerem, BARLAS Yaman. A dynamic model of salinization on irrigated lands[J]. *Ecological Modelling*, 2001, 139(2, 3): 177- 199.
- [3] Kirkby S D. Integrating a GIS with an expert system to identify and manage dryland salinization [J]. *Applied Geograph*, 1996, 16(4): 289- 303.
- [4] Mehta S, Fryar A E, Brady R M, et al. Modeling regional salinization of the Ogallala aquifer, Southern High Plains, TX, USA [J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 238(1, 2): 44- 64.
- [5] Dehaan R L, Taylor G R. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80(3): 406- 417.
- [6] Kiiveri Harri, Caccetta Peter. Image fusion with conditional probability networks for monitoring the salinization of farmland [J]. *Digital Signal Processing*, 1998, 8(4): 225 - 230.
- [7] Metternicht G I. Categorical fuzziness: a comparison between crisp and fuzzy class boundary modelling for mapping salt-affected soils using Landsat TM data and a classification based on anion ratios [J]. *Ecological Modelling*, 2003, 168: 371- 389.
- [8] Metternicht G I. Fuzzy classification of JERS-1 SAR data: an evaluation of its performance for soil salinity mapping [J]. *Ecological Modelling*, 1998, 111: 61- 74.
- [9] Metternicht G I, Zinck J A. Remote sensing of soil salinity potentials and constraints [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 85: 1- 20.
- [10] Metternicht G I. Remote sensing of soil salinity potentials and constraints [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 85: 1- 20.
- [11] 张殿发, 王世杰. 吉林西部土地盐渍化的生态地质环境研究 [J]. *土壤通报*, 2002, 2(4): 90- 93.
- [12] 骆玉霞, 陈焕伟. GIS 支持下的 TM 图像土壤盐渍化分级 [J]. *遥感信息理论研究*, 2001, 4: 12- 15.
- [13] 关元秀, 刘高焕, 刘庆生, 等. 黄河三角洲盐碱地遥感调查研究 [J]. *遥感学报*, 2001, 1(5): 46- 53.
- [14] 关元秀, 刘高焕. 区域土壤盐渍化遥感监测研究综述 [J]. *遥感技术与应用*, 2001, 1(16): 40- 44.
- [15] 徐东瑞, 高广惠. 盐渍化土壤遥感动态监测及人工调控 [J]. *华北农学报*, 1995, 10: 175- 180.
- [16] 戚隆溪, 陈启生, 将春浩. 土壤盐渍化的监测和预报研究 [J]. *土壤学报*, 1997, 34(2): 189- 199.
- [17] 宋长春, 邓伟, 李取生. 松嫩平原土壤次生盐渍化过程模型研究 [J]. *水土保持学报*, 2002, 5(16): 23- 42.
- [18] Metternicht G I. Assessing temporal and spatial changes of salinity using fuzzy logic, remote sensing and GIS [J]. *Foundations of An Expert System*, 2001, 144(2, 3): 163 - 179.
- [19] 李凤全, 吴樟荣. 半干旱地区土地盐渍化预警研究——以吉林省西部土地盐渍化预警为例 [J]. *水土保持通报*, 2002, 1(2): 57- 59.
- [20] 李凤全, 卞建民, 张殿发. 半干旱地区土壤盐渍化预报研究——以吉林省西部洮儿河流域为例 [J]. *水土保持通报*, 2000, 2: 2- 4.
- [21] Bzty M, Xie Yichun, Sun Zhanli. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1999, 23(3): 205- 233.
- [22] Karafyllidis Ioannis, Theanailakis Adoios. A model for predicting forest fire spreading using cellular automata [J]. *Ecological Modelling*, 1997, 99(1): 87- 97.
- [23] Zhou Chenghu, Sun Zhanli, Xie Yichun. Study on cellular automatic [M]. Beijing: Scientific Publishing House, 1999, 12.
- [24] 崔伟宏, 张显峰. 土地资源的动态监测和动态模拟研究 [J]. *地球信息科学*, 2002, (1): 79- 85.
- [25] 武龙甫, 李和跃. 吉林省西部水资源开发利用战略探讨 [J]. *东北水利水电*, 2000, 18(11): 30- 55.
- [26] 王春风. 用遥感和单元自动演化方法研究城市扩展问题 [M]. 北京: 测绘出版社, 2002.
- [27] 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1999, 12.
- [28] 卞建民, 林年丰, 汤洁. 土地盐碱荒漠化预警理论及实证研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2003, (2): 207- 209.
- [29] 吉林省、黑龙江省地矿局. 松嫩平原水文地质工程地质综

合评价报告[R]. 1985.

[30] 史晓霞, 王静, 任春颖, 等. 基于 GIS 与 Geo-CA 模型的半

干旱区土壤盐渍化动态模拟研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2004, 36(2): 88-94.

Simulation and prediction of the spatial-temporal evolution of soil-salinization based on Cellular Automata(CA) model

Shi Xiaoxia, Li Jing, Chen Yunhao^{*}, Guo Qiaozhen

(*Institute of Resources Technology and Engineering, College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: Soil-salinization is one of the main forms of land degradation in arid and semi-arid region, and its happening and development are complex non-linear dynamic process. Influence factors and dynamic mechanism of soil-salinization were confirmed through analyzing the soil-salinization characteristic in Changling County, Jilin Province. Geo-Salinization model was set up based on CA model which has stronger capability of computing and simulating spatial-temporal dynamic evolvement of complex system and with the support of GIS and RS technology. Combined with relative attribution data and spatial data, GeoCA-Salinization model was used to simulate and predict soil-salinization process in Changling County. Results show that the simulation and prediction of spatial-temporal evolution of soil-salinization tally with the factual situation, which reflect the soil-salinization development situation in Changling County. Compared with other methods, the method described in this paper can realize the combination of discretionary valid time interval and instantaneous dynamic visualization expression better and is an effective way to simulate and predict soil-salinization spatial-temporal evolvement.

Key words: soil-salinization; GeoCA-Salinization model; spatial data; Changling County