

黑河中下游土地利用模拟预测研究

胡洁 赵芳 韦蔚 姜成桢

(测绘信息工程院)

[摘要] 研究适用于流域土地利用变化模拟方法,基于元胞自动机原理,应用 GeoSOS 平台的 ANN-CA 模型对黑河中下游 2000–2011、2011–2017 两期土地利用状况进行模拟评价并分析,结果显示:(1) ANN-CA 模型适用于模拟复杂的土地利用演化过程;(2) 基于 ANN-CA 模型模拟的黑河中下游土地分类取得理想的模拟效果,模拟结果 kappa 精度较好;(3) 利用合适的模拟方法预测黑河中下游土地利用变化,以期为土地资源的保护和可持续发展以及相关规划编制提供参考依据。

[关键词] ANN-CA GeoSOS 土地利用 模拟预测

1 引言

近年来,随着经济的快速发展,土地利用/覆盖状况发生了巨大变化,最显著就是高速的城市化扩张而导致的农田、森林、草地和水体等生态环境用地,逐渐大量的转化为城镇建设用地。土地利用变化模拟作为一个热点研究方向,常见的模拟方法有多元统计模型、马尔科夫(Markov)模型、CLUE-S 模型、元胞自动机(CA)模型等。CA 模型能够有效地模拟复杂的土地利用^[1],具有积极地理论和实践意义^[2]。CA 模型广泛用于模拟生物种群繁殖、城市发展等复杂系统^[3],黎夏等^[1,4]不断推动城市 CA 模型的深入研究,开发出基于元胞自动机的土地利用动态模拟系统 GeoSOS。GeoSOS 耦合了地理模拟和空间优化的模型,提供一整套理论、方法和工具用于模拟、预测和优化复杂地理格局和过程。模拟多种土地利用类型的变化涉及到比较复杂的转换关系,模型往往有更多的参数需要设定^[5],许多研究^[6–8]表明神经网络(ANN)有一系列优点,特别适用于模拟复杂的非线性系统。

自 2012 年对黑河中下游生态环境动态变化调查以来,流域经济社会迅速发展,流域生态环境发生了快速变化。因此,本文采用基于人工神经网络的元胞自动机(ANN-CA)模型,借助 GeoSOS 平台模拟黑河中下游土地利用演化情况,从而获取地类覆盖的变化

规律,客观反映其地域空间特征,为黑河流域中下游的土地资源合理配置提供科学依据和技术支撑。

2 研究区域

黑河是我国西北地区第二大内陆河,流域范围介于东经 98°~102°,北纬 37°50′~42°40′之间。本研究(见图 1 红色边线区域)集中在黑河干流沿线的中、下游地区,包括中游的甘州区、临泽县和高台县,下游的鼎新地区和额济纳三角洲。黑河中游两岸地势平坦,光热资源充足,但干旱严重,人工绿洲面积较大,部分地区土地盐碱化严重;黑河下游深居内陆腹地,是典型的大陆性气候,具有降水少、蒸发强烈、温差大、风大沙多、日照时间长等特点。

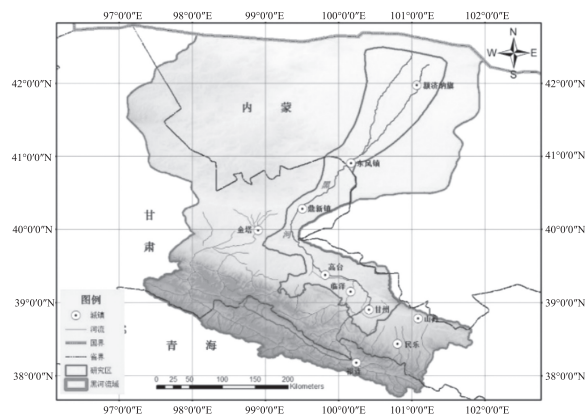


图 1 研究区范围

作者简介:胡洁(1981—),女,河南省信阳人,硕士,从事测绘与遥感技术应用方面的工作。

3 研究方法路线

(1) 研究方法

研究采用 ANN-CA 模型,核心原理是基于不同时期的土地利用数据进行神经元训练;然后,根据各影响因子的特性,循环计算得出每个元胞的土地利用类型转换概率,从而实现土地利用规划的模拟预测。ANN-CA 的数学描述如下:

$$P(k,t,l)=(1+(-\ln\gamma)^\alpha)\times P_{ann}(k,t,l)\times\Omega'_k\times con(S_k^t)$$

简单的来说,即“元胞 k 时刻 t 第 l 种土地利用类型转换概率”等于随机因素、人工神经网络计算概率、邻域发展密度和转换适宜性四种因素计算值的乘积。式中, $(-\ln\gamma)^\alpha$ 为随机因素; $P_{ann}(k,t,l)$ 为已训练的人工神经网络计算的某种土地利用类型的转换概率; Ω'_k 为所定义的邻域窗口中城市用地的密度; $con(S_k^t)$ 为两两土地之间的转换适宜性。

相比于 CA 的其他模型,ANN-CA 能够适用于复杂的非线性系统,更好的训练数据,获取较高的模拟精度,同时具备较少约束条件的自变量需求等优点。

(2) 技术路线

本研究基于 ANN-CA 模型对黑河中下游土地利用情况进行模拟预测,采用黑河中、下游地区 2000 年、2011 年和 2017 年 1:10 万土地利用数据,进行土地利用变化模拟与验证;采用黑河中下游市县的基础设施数据,提取交通路网、行政驻地和居民地点等,用于计算距离类的影响因子;采用黑河中下游 DEM 数据,提取地形坡度信息,用于计算自然属性类的影响因子。具体研究流程如下:

(1) 模型数据准备。收集研究区 2000 年、2011 年和 2017 年的土地利用分类数据和影响土地利用类型变化的自然因素和人文因素数据。

(2) 规则提取。采用 ANN-CA 方法进行样本训练,获取历史时期土地利用变化的规律,即各影响因子与土地利用类型变化之间的关系以及样本训练参数。

(3) 执行模拟和精度分析。根据获取的土地利用变化规律,进行研究区某一时段土地利用类型的模拟或预测,通过计算模拟结果的 Kappa 系数来验证模拟精度。

4 黑河中下游土地利用模拟预测

4.1 土地利用模拟

(1) 数据处理

首先将收集到的土地分类数据和基础设施数据进行坐标统一和栅格化转换,综合考虑数据信息量和计算机处理速度,确定数据元胞大小为 60×60 。计算影响因子数据,主要包括距离因子、邻域因子和自然属性因子三种类型的模型参量,本文采用的模型参量如表 1 所示,处理后非邻域类影响因子类型如图 2 所示。将处理好的影响因子栅格数据进行归一化处理、范围裁切,同时转为 GeoSOS 平台要求的 ASCII 文件格式。

表 1 神经网络 CA 模型输入层空间影响因子

变量符号	对应变量	变量类别	取值范围
x_1	到城市中心的距离	距离类	0~5km
x_2	到村镇中心的距离	距离类	0~2km
x_3	到铁路的距离	距离类	0~1km
x_4	到高速路的距离	距离类	0~1km
x_5	到公路的距离	距离类	0~0.5km
x_6	耕地邻域元胞数量	邻域类	0~49 单元
x_7	林地邻域元胞数量	邻域类	0~49 单元
x_8	草地邻域元胞数量	邻域类	0~49 单元
x_9	水域邻域元胞数量	邻域类	0~49 单元
x_{10}	城镇建设用地邻域元胞数量	邻域类	0~49 单元
x_{11}	高程	自然属性类	实际高程值
x_{12}	坡度	自然属性类	0~70 度

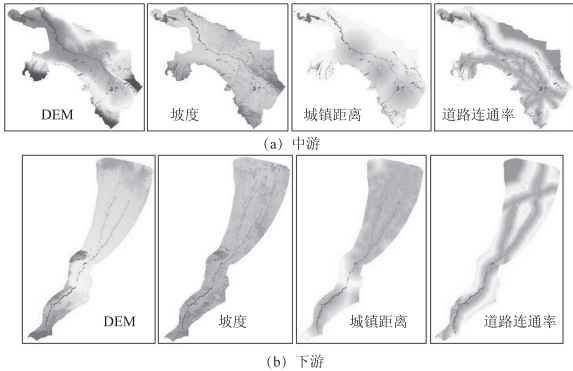


图 2 黑河中下游影响因子

(2) 基于 GeoSOS 的模拟

通过已知数据分析,本研究将 2000、2011、2017 三年土地利用数据分为 2000-2011 年、2011-2017 年两个时间跨度,对 ANN-CA 模型进行样本训练和参数配置。根据多次迭代模拟,最终确定元胞邻域 7×7 ,神经元的学习效率设为 0.2。采用 2000 年度和 2011 年度地类数据作为训练样本的起始时间数

据,下游样本训练元胞数约为 2000 年耕地总面积的 10%,土地模拟迭代 10000 次;中游考虑到因样本量过大,设置较大的迭代次数需要过长的运行时间,因此样本训练数设为 2000 年耕地总面积的 3.5%,迭代 30000 次;模拟终止条件设置为至 2011 年未利用地减少到一定数量,则模拟完成。同理设置 2011~2017 年的模拟参数。实现预测后,导出模拟结果在 ArcGIS 中进行空间和数量分析统计。

表 2 Cohen-Kappa 分类标准

Kappa 系数	<0.00	0.00~0.20	0.21~0.40	0.41~0.60	0.61~0.80	0.81~1.00
程度	很差	微弱	弱	适中	显著	最佳

(1)2011 年土地利用模拟评价

黑河中游、下游 2000 年和 2011 年土地利用分类数据经 ANN-CA 模型样本训练,得到黑河中下游 2011 年土地利用模拟数据,与真实数据的对比情况如表 3 所示,以元胞数量来进行对比分析。将明显扩展的耕地地类作为目标地类,计算 2011 年中游生

4.2 模拟结果评价

本研究模拟精度验证采用 Kappa 指数,它是一种较好的用来描述栅格数据随时间变化以及变化方向的方法,常用于检查影像分类对于真实地物判断的正确性程度。

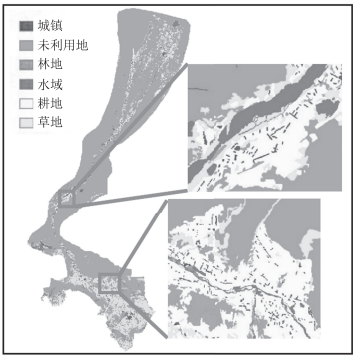
在分类的精度评价中,不同的精度评价方法有不同的划分标准和含义。本文直接借用 Cohen 提出的 Kappa 系数分类评价标准^[9-10](见表 2)。

态环境模拟的 Kappa 系数=0.86,总体精度 $P_a=91.76\%$; 2011 下游年生态环境模拟的 Kappa 系数=0.97,总体精度 $P_a=96.84\%$ 。由模拟计算结果可知,黑河中下游 2011 年模拟结果 Kappa 系数值处于最佳精度模拟范围,表明该段时间内利用 ANN-CA 模型模拟的土地分类达到比较理想的模拟效果。

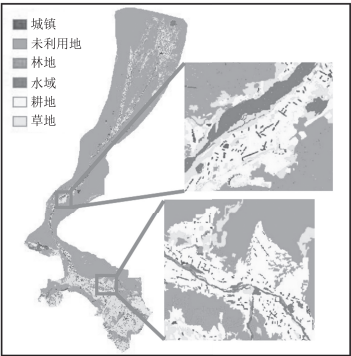
表 3 黑河中下游 2011 年土地利用真实数据与模拟数据对比

用地类型	中游元胞数量			下游元胞数量		
	2000 年	2011 年(真实)	2011 年(模拟)	2000 年	2011 年(真实)	2011 年(模拟)
耕地	591075	662186	735651	50481	81076	74168
林地	33806	36506	33806	113125	121096	119845
草地	274725	261271	255939	354833	350584	354804
水域	122917	116819	122917	68053	85977	88723
城镇	36412	45166	45892	10376	11813	15174
未利用地	1533736	1470718	1398466	4249176	4195498	4193385

图 3 为 2011 年黑河中游、下游土地利用类型的模拟影像和真实影像,比对地类较丰富的某些区域,可知模拟的土地利用效果与真实影像效果基本相似。影像对比图反映出各地类元胞数量在模拟过程中的变化,黑河中游地区林地、水域面积变化缓慢,呈现出基本维持原地貌状态;耕地、城镇建设用地面积有显著增加,与区域经济增长和城镇化发展有关,增加来源多数为未利用地的开发。下游地区耕地、水域、建设用地显著增加,林地、草地变化缓慢;未利



(b) 真实



(a) 模拟

图 3 2011 年黑河中下游土地利用真实影像与模拟影像对比

用地大部分地类为荒草地和戈壁滩地,随着黑河流域的生态环境改造未利用地得到一定程度的开发。

(2)2017 年土地利用模拟评价

黑河中游、下游 2011 年和 2017 年土地利用分类数据经 ANN-CA 模型样本训练,得到黑河中下游 2017 年土地利用模拟数据,与真实数据的对比情况如表 4 所示,以元胞数量来进行对比分析。由于该时间跨度内中游主要转化的目标地类有耕地、林地、

城镇建设用地,分别计算各地类模拟后的 Kappa 系数:

总体精度 $Pa = 80.26\%$, $Kappa(\text{草地}) = 0.66$,
 $Kappa(\text{林地}) = 0.79$, $Kappa(\text{城镇}) = 0.79$;

下游 2017 年生态环境主要转化地类是林地和草地,其模拟结果的 Kappa 系数分别为:

总体精度 $Pa = 92.93\%$, $Kappa(\text{林地}) = 0.92$,
 $Kappa(\text{草地}) = 0.92$ 。

表 4 黑河中下游 2017 年土地利用真实数据与模拟数据对比

用地类型	中游元胞数量			下游元胞数量		
	2011 年	2017 年(真实)	2017 年(模拟)	2011 年	2017 年(真实)	2017 年(模拟)
耕地	662186	656822	662186	81076	89385	102253
林地	36506	80945	75622	121096	248326	257482
草地	261271	792305	750673	350584	240816	253084
水域	116819	55875	49980	85977	83759	85977
城镇	45166	103695	92519	11813	18909	14574
未利用地	1470718	903024	961686	4195498	4164849	4132674

由统计结果可知,黑河中下游 2017 年生态环境模拟 Kappa 系数值处于显著及以上精度模拟范围,表明该段时间利用 ANN-CA 模型模拟的土地分类达到比较理想的模拟效果。

图 4 为 2017 年黑河中游、下游土地利用类型的模拟影像和真实影像,同样的截取地类较丰富的某些区域进行对比分析。在 2011 年至 2017 年时段内,林地、草地的覆盖面积呈现出显著的区域性差异,从空间分布模式上,模拟结果表现出和真实解译土地利用分类现状相似的变化趋势。邻近主要交通线路的区域生态环境得到显著改善,中游地区未利用地大范围的被改造为草地,下游地区林地覆盖度亦显著增加,“退耕还林”政策实施后效果明显;反

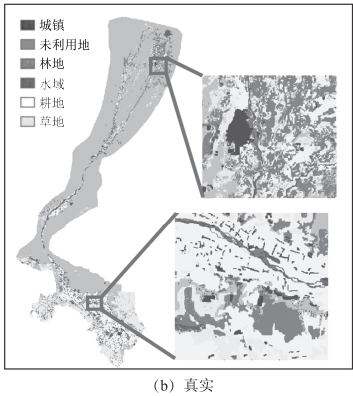


图 4 2017 年黑河中下游土地利用真实影像与模拟影像对比

映城镇化作用的约束条件表现突出,表明随着城镇化的推进,中心城镇的空间辐射能力逐渐增强。

4.3 土地利用预测分析

为了进一步了解并掌握研究区域未来土地利用变化情况,在最近时段变化研究的基础上展开对黑河中游土地利用变化趋势预测分析,以期对未来城乡自然资源规划与发展提供参考依据。根据相近时段土地类型变化规律接近的原则,假设各类影响因素在未来发展过程中没有发生较大变化,按照 2011-2017 年经分析得到的生态环境地类转化率,基于 ANN-CA 模型预测黑河中游 2023 年的土地利用情况。预测结果见表 5。

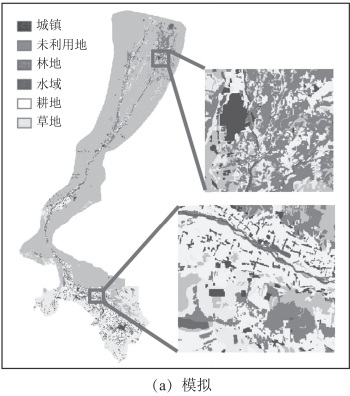


表 5 黑河中下游 2011 年、2017 年、2023 年土地利用预测情况

土地利用类型		2011 年		2017 年		2023 年(预测)	
		元胞数量	比例	元胞数量	比例	元胞数量	比例
中游	耕地	662186	25. 53%	656822	25. 33%	543046	20. 94%
	林地	36506	1. 41%	80945	3. 12%	165086	6. 37%
	草地	261271	10. 08%	792305	30. 56%	864912	33. 36%
	水域	116819	4. 51%	55875	2. 16%	55875	2. 16%
	城镇	45166	1. 74%	103695	4. 00%	148585	5. 73%
	未利用	1470718	56. 73%	903024	34. 83%	815162	31. 44%

续表 5 黑河中下游 2011 年、2017 年、2023 年土地利用预测情况

土地利用类型		2011 年		2017 年		2023 年(预测)	
		元胞数量	比例	元胞数量	比例	元胞数量	比例
下游	耕地	81076	1.68%	89385	1.85%	156698	3.23%
	林地	121096	2.50%	248326	5.12%	311148	6.42%
	草地	350584	7.23%	240816	4.97%	165751	3.42%
	水域	85977	1.77%	83759	1.73%	85977	1.77%
	城镇	11813	0.24%	18909	0.39%	34392	0.71%
	未利用	4195498	86.58%	4164849	85.94%	4092078	84.44%

预测结果符合样本训练时段的生态环境变化趋势:城镇化进程持续推进,依托主要交通线路区域环境得到改善(见图 5(a));中游林地和草地覆盖度继续增长,地区荒漠化趋势得到一定程度缓解(见图 5(b));下游金塔县鼎新片为灌溉农业经济区,由图可知该片区耕地面积显著增加,符合该区域农业经济发展形势(见图 6(a));下游额济纳旗区域的林地覆盖面积增长显著(见图 6(b)),作为三角洲地带的绿洲,额济纳旗是阻挡风沙侵袭保护生态环境的重要屏障。

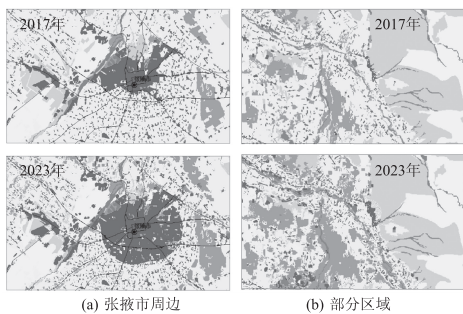


图 5 黑河中游局部 2017/2023 年土地利用变化情况

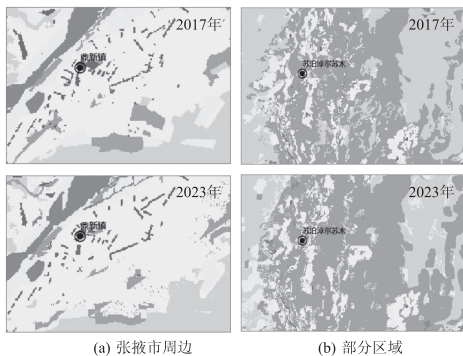


图 6 黑河中游局部 2017/2023 年土地利用变化情况

5 结论

本文提出了基于 ANN-CA 模型的黑河中下游土地利用模拟预测方法,将 2000、2011、2017 三年土地利用数据分 2000–2011 年、2011–2017 年两个时段,利用 GeoSOS 平台对 ANN-CA 模型进行样本训练和参数配置,分别获取 2011 年和 2017 年的土地

利用模拟数据,通过与真实数据的对比和对 Kappa 系数的分析,以表明基于 ANN-CA 模型的土地利用模拟方法用于黑河中下游土地利用模拟预测的可行性。然后,在假定 2011–2017 年生态环境地类转化率不变的前提下,基于该模型对黑河中下游 2023 年的土地利用情况进行模拟预测。模拟结果反映出的黑河中下游土地利用变化趋势与人类活动规律、自然因素影响是一致的,如由城镇规划、村镇产业及交通发展推动的城乡建设用地空间快速发展,和来自区域经济模式和区位环境影响的耕林草地的动态变化。研究表明,本文提出的基于 ANN-CA 模型的黑河中下游土地利用模拟预测方法正确可行,可为土地资源的保护和可持续发展以及相关规划编制提供技术支撑。

参考文献

- [1] 黎夏,叶嘉安,刘小平. 地理模拟系统:元胞自动机与多智能体[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [2] 何春阳,陈晋,史培军等. 基于 CA 的城市空间动态模型研究. 地球科学进展[J]. 2002, 17(2):188–195.
- [3] 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,2001.
- [4] 黎夏,李丹,刘小平. 地理模拟优化系统 GeoSOS 及前沿研究[J]. 地球科学进展, 2009, 24(8):899–907.
- [5] 黎夏,叶嘉安. 基于神经网络的元胞自动机及模拟复杂土地利用系统. 地理研究[J]. 2005,24(1):19–27.
- [6] Openshaw S. Neural network, genetic, and fuzzy logic-models of spatial interaction. Environment and Planning A,1998,30: 1857–1872.
- [7] 马晶,徐月,冯云飞,等. GeoSOS 在城市扩展中的应用[J]. 测绘通报,2018(7):116–120.
- [8] 管超,哈斯. 基于 GeoSOS 的城市扩展模拟——以旅顺口区为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(3):49–54.
- [9] Feinstein A R, Cicchetti D V. High agreement but low Kappa;I. The problems of two paradoxes[J]. Journal of Clinical Epidemiology,1990, 43(6):543–549.
- [10] Cicchetti D V, Feinstein A R. High agreement but low Kappa: II. Resolving the paradoxes[J]. Journal of Clinical Epidemiology,1990,43(6):551–558.