

基于ANN-CA的银川平原湿地景观演化驱动力情景模拟分析

张美美¹, 张荣群^{2*}, 郝晋珉³, 艾东³

(1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094;

2. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 3. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要 本文通过对湿地景观的时空动态发展过程其形成空间格局的分析, 构建了基于ANN-CA的银川平原湿地景观时空模拟模型, 并对湿地景观格局过程与主要驱动力因子间的响应关系进行了情景模拟。研究表明: 年降水量对天然湿地中的河流湿地和湖泊湿地的驱动作用呈正相关关系, 对水稻田和坑塘湿地的影响不显著; 人口密度对人工湿地的驱动作用呈正相关, 随着人口密度的增加, 水稻田和坑塘向各个方向大面积蔓延, 河流和湖泊等天然湿地的面积则逐渐减少; 随着农业生产活动的加强、农业总产值的增加, 河流和湖泊缓慢减少, 水稻田和坑塘等人工湿地分布迅速扩张。

关键词 元胞自动机; 神经网络; 湿地; 驱动力; 情景模拟; 银川平原

DOI:10.3724/SP.J.1047.2014.00418

1 引言

湿地演化是自然因素与人类活动共同作用的结果, 研究湿地景观格局过程的驱动机制, 对湿地恢复保护措施的制定具有重要的科学意义^[1]。银川平原的湿地资源是西北地区最丰富、最典型的湿地资源。因此, 对银川平原湿地景观变化的研究能为西北地区的湿地资源保护与可持续发展提供科学理论依据。目前, 有关湿地景观格局过程驱动力的研究, 主要集中于历史记录数据的对比分析^[2]和驱动力情景模拟分析^[3-4]2个方面。前者旨在总结湿地保护利用的经验教训, 后者可为湿地恢复保护方案的制定提供决策支持^[5]。国内外众多学者主要是通过土地利用/覆被变化分析与预测模型^[6], 进行湿地景观格局过程驱动力分析。其按照模型是否具有空间特性, 分为数值预测模型和空间模拟模型^[7]。数值预测模型只能从数量上解释湿地与驱动力因子间的因果关系, 不能反映其在空间上的作用结果, 这是数值预测模型的不

足^[8]。空间模拟模型能在空间上反映湿地空间分布格局的变化过程, 对湿地与驱动力因子间的因果关系具有更强的解释能力^[9]。但经典的空间模拟模型, 没有考虑研究对象在空间上的相互作用问题^[10]。元胞自动机(Cellular Automata, CA)模型作为一种时间、空间、状态都离散的格网动力学模型, 充分考虑了地理现象在空间上的相互作用和时间上的因果关系, 使其在空间复杂系统过程模拟方面, 有着更加显著的优势^[11]。元胞自动机模型最核心的部分是转换规则的定义^[12], 它涉及到很多的变量、参数的确定, 故用户难以选择^[13]。采用神经网络ANN(Artificial Neural Network, ANN)模型来获取元胞自动机复杂的转换规则参数, 可有效地简化元胞自动机模型的结构和转换规则的定义^[14]。目前, 国内外大多数的ANN-CA模型主要是针对土地利用/覆被变化及城市扩张的研究。本文采用人工神经网络模型, 构建了银川平原湿地景观演变的ANN-CA时空模拟模型, 以及其驱动力情景模拟的分析方法。

收稿日期 2013-01-29; 修回日期: 2013-11-24.

基金项目 国家自然科学基金项目(41271419)。

作者简介 张美美(1988-), 女, 陕西延安人, 博士生, 主要从事环境变化监测研究。E-mail: zm_813@163.com

*通讯作者 张荣群(1964-), 男, 教授, 主要从事地图学与环境变化遥感监测、模拟研究。E-mail: zhangrq@cau.edu.cn

2 研究区概况与数据源分析

(1)银川平原由黄河长期淤积及准平原演化而成,位于宁夏境内贺兰山与鄂尔多斯高原之间,东经 $105^{\circ}51' \sim 106^{\circ}54'$,北纬 $37^{\circ}36' \sim 39^{\circ}14'$,海拔 1100~1200m。其地处中温带干旱半干旱区,气候干旱少雨,年均降水量为 185mm,年蒸发量为 1825mm,约为降雨量的 10 倍。银川平原湿地广布,湿地面积占银川平原总面积的 1/4 以上,曾是流域最主要的生态系统类型^[15]。到明清时期,由于大规模的农业开发,开挖排水渠系,湿地面积减少。受当时生产力技术的影响,土地时垦时废,湿地面积也呈现出时缩时扩的态势^[16]。到 20 世纪 50 年代,随着灌排系统的完善,湿地面积急剧萎缩,从 20 世纪 30 年代的 527km² 下降到 1958 年的 160km²,1981 年仅剩 107km²^[17]。

银川平原湿地属于典型的绿洲湿地,与干旱半干旱地区社会经济与资源环境的可持续性息息相关^[18]。随着地区社会经济发展和自然资源开发

利用强度的加剧,湿地生态系统和资源可持续利用问题日益严重。因此,对绿洲湿地景观格局过程与分布规律的研究,可为湿地保护方案与技术措施的制定提供决策依据。

(2)本文采用 1991 年 8 月和 2006 年 8 月的 TM 遥感数据,以及湿地类型分布图,基础地图有 1:10 万地形图、银川平原土地利用现状图、水利工程图、交通图等,统计数据有统计年鉴和相关的文字调查报告^[19-20]。根据当地的湿地分布类型和遥感湿地制图的特点,将湿地类型划分为河流湿地、湖泊湿地、坑塘湿地、水稻田湿地、河漫滩湿地、建设用地和其他非湿地类型,分类后处理得到湿地分类图。本研究选取了 600 个样本点进行实地抽样验证,正确率达到 87.67%,Kappa 系数总体精度为 86.35%。

大量湿地驱动因素的研究表明,湿地景观类型的演变,通常取决于一些相关的距离变量,包括各元胞离最近道路的距离、离最近居民点的距离、窗口中邻近现有类型的其他湿地类型元胞的数量、单

表 1 ANN-CA 模型的输入变量

Tab.1 Input variables of ANN-CA model

空间变量	获取方法	原始数据范围
距离变量		
离最近道路的距离(x_1)	利用 Analysis Tools	0~17 km
离最近居民点的距离(x_2)	模块中的 Near 命令	0~95 km
邻近现有湿地类型数量		
邻近河流的单元数量(x_3)		0~9 单元
邻近湖泊的单元数量(x_4)		0~9 单元
邻近坑塘的单元数量(x_5)	利用 Matlab 编写	0~9 单元
邻近水稻田的单元数量(x_6)	(3×3 窗口)	0~9 单元
邻近建设用地的单元数量(x_7)		0~9 单元
邻近黄河河漫滩的单元数量(x_8)		0~9 单元
邻近其他地类的单元数量(x_9)		0~9 单元
单元自然属性		
高程(x_{10})	利用 ARC/INFO TIN,	1100~1200 m
年均降水量(x_{11})	转换为 ARC/INFO GRID	83~196 mm
年均蒸发量(x_{12})	利用 Spatial Analyst	1557~2335 mm
年均日照时数(x_{13})	模块中的 Kriging 插值	3017~3154 h
年均气温(x_{14})		9~10.7 ℃
湿地和非湿地类型($x_{15} \sim x_{21}$)		河流、湖泊、坑塘、水稻田和河漫滩,建设用地和其他非湿地类型
社会因素		
人口密度(x_{22})	利用 Spatial Analyst	65~609 人/km ²
农业总产值(x_{23})	模块中的 Kriging 插值	1257~16647 万元

元的社会因素及自然属性等。在ANN-CA模型中,输入层的23个神经元对应于影响湿地景观变化的16个驱动力因子和7个类型变量,这些输入变量的获取方法及原始数据范围如表1所示。所有数据转化成UTM投影,WGS84坐标系,第48带,并统一生成60m ASCII_GRID格式的数据。最后,将所有数据进行归一化处理,使其范围在[0,1]之间。

3 湿地变化的ANN-CA模型驱动力模拟分析

3.1 ANN-CA模型构建

(1)元胞设置。在基于ANN-CA模型的湿地景观演化模拟构建中,元胞状态定义为湿地的类型,依次为河流湿地、湖泊湿地、坑塘湿地、水稻田湿地、河漫滩,以及建设用地(包括居民点和道路)和其他非湿地类型。采用的元胞空间为二维、四边形的,元胞大小设为60m×60m。邻域采用8个邻居的Moore模型。

(2)转换规则。ANN-CA模型由训练模块和预测模块组成,共用同一个神经网络。训练模块利用训练数据得到模型的参数,预测模块用训练好的模型进行预测模拟^[21]。本文采用经典的BP算法,利用Matlab 2011a开发实现。网络结构分为3层:第1层为数据输入层,共23个神经元,分别对应影响湿地变化的变量;第2层为隐含层,根据Kolmogorov定理,对于3层的非线性神经网络,其隐含层的神经元个数至少为输入层的2/3,本文设计的神经元为非线性的,经过多次反复实验后,当隐含层神经元为16个时,训练效果较好。因此,设定隐含层的神经元数目为16,采用tansig激励函数;第3层为输出层,由7个神经元组成,分别对应7个湿地类型的转换概率,采用logsig激励函数。

(3)模型及精度分析。本研究采用随机抽取样本的方法,从研究区的元胞数据库(共计2 165 216个元胞)中随机抽取了30 000个元胞数据作为模型的训练数据库和验证数据库。将1991年湿地空间变量的全部数据作为ANN-CA模型的预测数据库,建立了银川平原湿地演化ANN-CA模型,技术流程如图1所示。

对于模型精度的验证评价,研究采用逐点比较的方法,将2006年的模拟图与2006年的遥感解译图叠加对比,模拟精度为84.24%,总体上达到了较

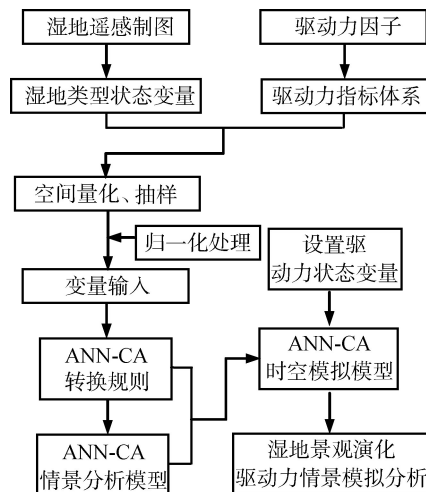


图1 技术流程图

Fig.1 Technique flow chart

表2 BP网络性能参数

Tab.2 The performance parameters of BP network

元胞状态	类型	模拟准确率(%)	网络均方差
1	河流湿地	68.13	0.038
2	湖泊湿地	72.55	0.032
3	坑塘湿地	76.26	0.025
4	水稻田湿地	79.92	0.015
5	建设用地	80.30	0.012
6	河漫滩湿地	70.06	0.036
7	其他地类	82.35	0.011

好的模拟精度。表2给出了模拟的性能参数,其中,水稻田,坑塘,建设用地的模拟准确率较高,而河流和河漫滩的模拟准确率相对低些,达到65%以上。这种差异表明,模拟准确率与不同状态元胞变化的频率有一定关系,即状态变化越频繁的元胞,模拟的准确率相对越低,反之则越高。

3.2 基于情景模拟的驱动力分析

3.2.1 情景设置

湿地景观类型的演变是多种驱动力因素之间相互作用的结果,其中,主要驱动力因子是湿地保护与恢复的决策制定的重要决策依据。“银川平原湿地景观格局演化规律研究”中采用主成分分析与Logistic混合模型,对引起银川平原湿地景观变化的主要驱动因子进行定量分析,结果显示:对于河流湿地,年平均降水量(x11)是对河流湿地发生变化影响最大的驱动力因子,年平均气温(x14)是第2因素,到最近道路的距离(x1)是第3因素;对于湖泊湿地,农业总产值(x23)是对湖泊湿地发生变化影

响最大的驱动力因子,年平均日照时数(x_{13})是对其变化产生影响的第2因素,年平均蒸发量(x_{12})是第3因素;对于水稻田湿地,年平均蒸发量(x_{12})是对其产生影响的首要因子,位于第2的影响因素是人口密度(x_{22}),年平均气温(x_{14})是对水稻田湿地变化产生重要影响的第3个因素;对于坑塘湿地,年平均降水量(x_{11})是影响的首要因子,位于第2的影响因素是农业总产值(x_{23}),高程(x_{10})是对其影响的第3个因素;对于黄河河漫滩,影响较大的前3个驱动力因子分别是年平均降水量(x_{11})、人口密度(x_{22})和农业总产值(x_{23})。另外,分析得出各个驱动力因子间存在不同程度的相关性,其中, x_1 与 x_{23} , x_{12} 与 x_{14} 、 x_{22} 、 x_{23} , x_{11} 与 x_{23} , x_{22} 与 x_{23} 之间的相关程度均达到了65%以上。鉴于此,本文分别从自然、社会和人类活动3方面选取年平均降水量、人口密度和农业总产值3个对湿地形成及发展影响最大的驱动力因子^[22]。依据“宁夏回族自治区国民经济和社会发展规划第十二个五年规划纲要”规划目标,设定了3种情景。

(1)年降水量。根据政府间气候变化专业委员会(IPCC)的评估,近几十年,亚洲地区的干旱频率和强度都有增加。据其预测,未来20年降水量可能有5%~10%的波动。同时结合《宁夏统计年鉴》中的历年降水量数据,设定以下3种情景:情景 V_1 ,降水量明显减少10%;情景 V_2 ,降水量增加5%;情景 V_3 ,降水量显著增加10%。

(2)人口密度。依据“九五”国家重点科技攻关项目“宁夏水资源优化配置与可持续利用战略研究”对人口发展的预测,认为宁夏的人口规模由于高速增长的惯性作用,将在一个相当长的时期内继续保持较高的增长势头,宁夏省未来常住人口的年增长率设定以下3种情景:情景 W_1 ,增长率为8‰,人口缓慢增长;情景 W_2 ,增长率为10‰,人口稳定增长;情景 W_3 ,增长率为18.7‰,人口快速增长。

(3)农业总产值。依据“宁夏农业和农村经济发展‘十二五’规划”发展目标,对农业总产值的增长率也设定了3种情景:情景 G_1 ,增长率为4.5%,农业较缓慢发展;情景 G_2 ,增长率为5.5%,农业稳定发展;情景 G_3 ,增长率为6.5%,农业高速发展。

利用银川平原湿地景观格局ANN-CA模型,在其他驱动力因子作为约束条件不变情况下,分别模拟了年降水量(V_1 、 V_2 、 V_3 3种状态)、人口密度(W_1 、 W_2 、 W_3 3种状态)和农业总产值(G_1 、 G_2 、 G_3 3种状态)湿地景观分布格局(图2、3、4)和分布面积(表2、3、4)。

3.2.2 年降水量情景模拟分析

在其他驱动力因子作为约束条件时,年降水量变化对湿地景观类型的分布有很大的影响。随着年降水量的增加,河流、湖泊等天然湿地分布迅速延伸或向周围扩张,而水稻田、坑塘等人工湿地变化并不明显,居民点、公路等建设用地基本保持不变。从表3可知,年降水量从减少10%到增加10%

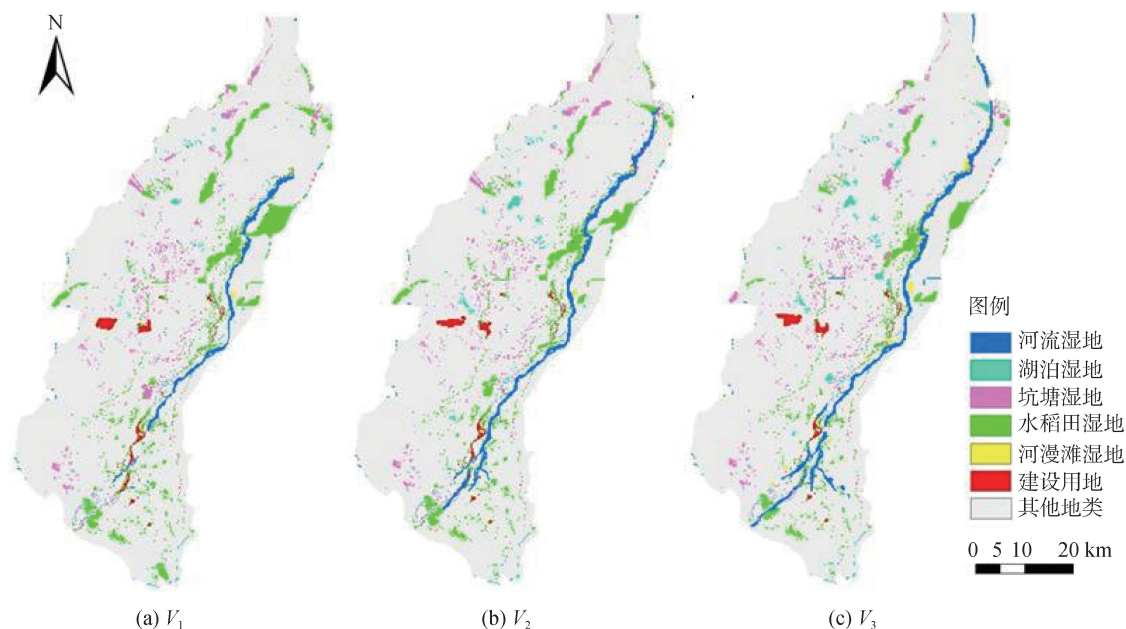


图2 年降水量 V_1 、 V_2 、 V_3 3种情景下的湿地景观格局模拟

Fig.2 Wetland landscape pattern simulations under three annual precipitation scenarios (V_1 , V_2 , V_3)

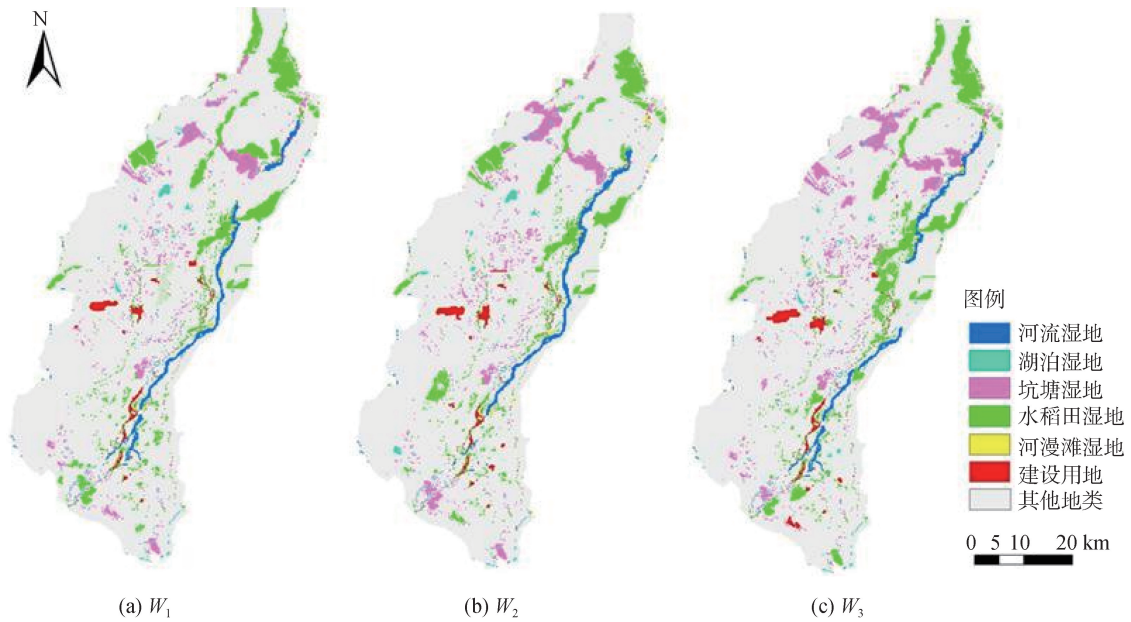


图3 人口密度在 W_1 、 W_2 、 W_3 3种情景下的湿地景观格局模拟

Fig.3 Wetland landscape pattern simulations under three population density scenarios (W_1 , W_2 , W_3)

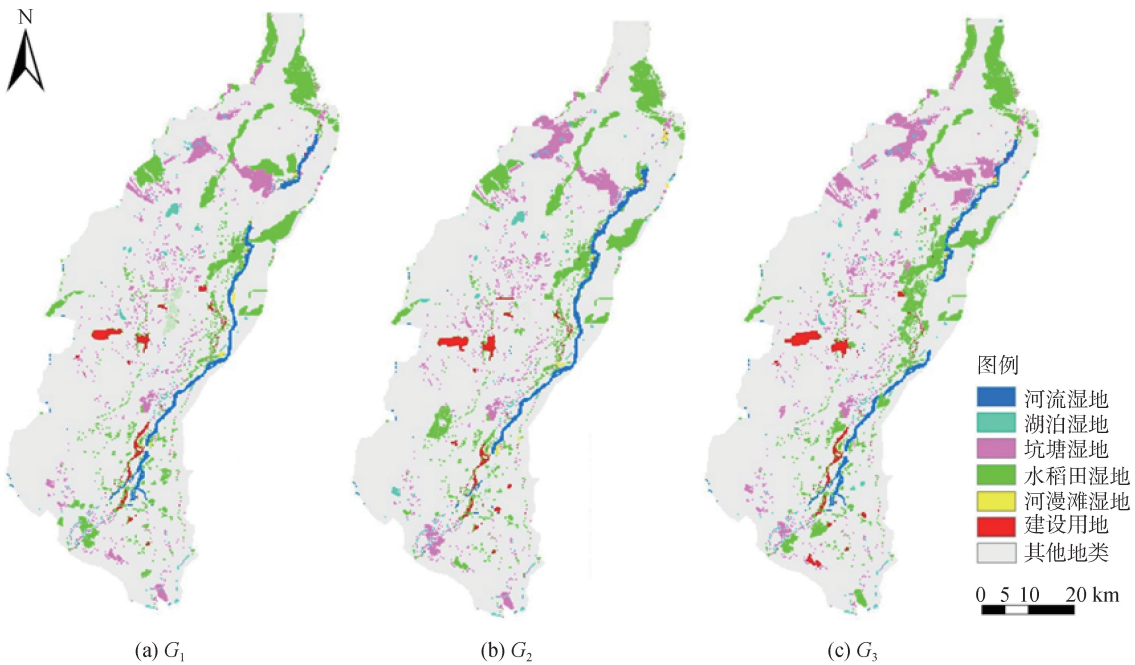


图4 农业总产值 G_1 、 G_2 、 G_3 3种情景下湿地景观分布格局模拟

Fig.4 Wetland distribution pattern simulations under three agricultural gross output value scenarios (G_1 , G_2 , G_3)

的变化过程中,河流湿地、湖泊湿地的面积持续增加,河流湿地共增加 26.38 km²,湖泊湿地增加 22.41 km²;水稻田湿地和坑塘湿地保持平稳增长的状态,面积分别增长 8.83 km²和 7.43 km²;建设用地和河漫滩湿地也呈缓慢增长之势。这说明自然因素中的年降水量因子对天然湿地的驱动作用较为

显著,呈正相关关系。年降水量的增加会直接导致地下水水位的上升,河流和湖泊等天然湿地得到更多地补给水源,面积扩大,同时,对依附于天然湿地的人工湿地也有较缓慢的促进作用。

3.2.3 人口密度情景模拟分析

从人口密度3种情景下模拟的湿地分布格局可

表3 年降水量3种情景模拟面积对比

Tab.3 Comparison of simulation areas under three annual precipitation scenarios

变化率(%)	面积(km ²)						
	河流 湿地	湖泊 湿地	坑塘 湿地	水稻田 湿地	建设用地	河漫滩 湿地	其他地类
-10	80.98	61.04	113.72	471.06	101.21	2.55	6964.21
5	101.17	75.87	117.67	478.69	100.71	4.87	6915.79
10	107.37	83.45	121.15	479.89	104.89	5.43	6892.59

表4 人口密度3种情景面积模拟对比表

Tab.4 Comparison of simulation areas under three population density scenarios

增长率(‰)	面积(km ²)						
	河流 湿地	湖泊 湿地	坑塘 湿地	水稻田 湿地	建设用地	河漫滩 湿地	其他地类
8	89.69	66.44	122.99	484.55	107.94	3.07	6920.10
10	86.44	64.27	133.27	492.60	111.21	2.79	6904.19
18.7	79.39	61.01	141.20	503.99	119.67	2.49	6887.02

表5 农业总产值3种情景模拟面积对比表

Tab.5 The comparison of three scenarios simulation areas in agriculture gross output value

增长率(%)	面积(km ²)						
	河流 湿地	湖泊 湿地	坑塘 湿地	水稻田 湿地	建设用地	河漫滩 湿地	其他地类
4.5	93.50	67.57	126.77	489.11	101.58	3.06	6913.19
5.5	90.12	64.71	137.18	496.66	100.72	2.87	6902.52
6.5	85.30	61.29	145.96	510.67	104.95	2.68	6883.92

以看出,在其他驱动力因子作为约束条件时,人口密度因子对湿地景观分布有很大影响。随着人口增长率的升高,坑塘、水稻田等人工湿地分布较广,向各个方向大面积蔓延;河流、湖泊、河漫滩湿地等天然湿地的轮廓则开始缩小;同时建设用地在人为的较强作用下也呈现迅速扩张的趋势。

对比3种人口密度情况下的湿地分布面积(表4)可以发现,人口密度的增长率从8‰变化到18.7‰的过程中,人工湿地中的水稻田和坑塘湿地的面积持续增加,水稻田湿地从484.55 km²到503.99 km²,共增加19.44 km²;坑塘湿地则从122.99 km²到141.20 km²,共计增加18.21 km²。河流和湖泊等天然湿地的面积缓慢减少,分别减少了10.30 km²和5.43 km²;建设用地的面积也在迅速增长,共增长了11.74 km²。这说明人口密度对人工湿地(水稻田和坑塘湿地)的影响呈正相关,因为人口增加,需要消费更多的粮食和鱼类副食品,而在银川平原地区的水稻种植,与其他粮食作物比较,产量高而

稳定,故种植水稻是当地提高粮食产量的重要途径。但在人口增长的同时也会增加用水压力,致使地下水水位降低,故河流和湖泊等天然湿地的面积相应减少。

3.2.4 农业总产值情景模拟分析

对比农业总产值3种状态下的湿地分布格局可知,在其他驱动力因子作为约束条件时,农业总产值对湿地景观类型的分布有很大影响。随着农业总产值的增加,水稻田、坑塘等人工湿地分布迅速扩张,而河流、湖泊等天然湿地的范围则缓慢缩小,居民点、公路等建设用地基本保持不变。在农业总产值的增长率从4.5%到6.5%的变化过程中,水稻田湿地、坑塘湿地的面积持续增加,水稻田湿地共增加21.56km²,坑塘湿地增加19.19km²;河流湿地和湖泊湿地保持缓慢减少的状态,面积分别减少8.20km²和6.27km²;建设用地和河漫滩湿地基本保持不变。这说明经济因素中的农业总产值因子对人工湿地(水稻田和坑塘湿地)的影响呈正相关,因

为农业总产值的增加势必需要通过提高粮食和鱼类副食品的产量来实现,水稻田和坑塘湿地的种植范围扩大,同时更多的人工湿地需要消耗大量的水资源,致使天然湿地相应减少。

4 结论

在湿地景观演化驱动力分析方面,受经典计量地理模型的限制,多以行政区划单位或自然地理区划单位作为研究对象,无法实现精细空间条件下的可视化分析,虽然提出了一些精细格网空间模拟模型,但经典的空间模拟模型忽略了地理要素在空间上的相互制约、相互作用。本文利用地理元胞自动机建立的银川平原湿地景观演化驱动力时空分析模型,充分考虑了地理现象在空间上的相互作用和时间上的因果关系,较为理想地解决了湿地景观演化驱动力的时空可视化分析,为在精细空间格局水平上,研究湿地景观变化与各驱动力因子间的响应关系提供了方法途径。

驱动力情景模拟结果表明,年降水量因子与天然湿地呈正相关作用,在年降水量从减少10%到增加10%的过程中,河流、湖泊湿地的面积持续增加,河流共增加26.38km²,湖泊增加22.41km²;水稻田和坑塘保持平稳增长的状态。人口密度因子对人工湿地的驱动作用较为显著,呈正相关关系,在人口密度的增长率从8‰到18.7‰的变化过程中,水稻田和坑塘向各个方向大面积蔓延,分别增加19.44km²和18.21km²,而在人工作用下河流和湖泊等天然湿地的面积逐渐减少,建设用地则大面积扩张。农业总产值因子综合了农业生产活动对湿地景观格局的影响,人工湿地随着农业生产总产值的提高,其分布面积呈扩大态势,而对天然湿地有缓慢的逆向抑制作用。在农业总产值的增长率从4.5%到6.5%的变化过程中,水稻田、坑塘等人工湿地面积迅速扩张,各增加21.56km²和19.19km²;而河流、湖泊则缓慢减少,建设用地和河漫滩湿地基本保持不变。

通过构建的ANN-CA模型,不仅可以进行驱动力模拟分析,也为区域湿地资源的保护利用、恢复重建寻求理论支持。湿地的演变是一个十分复杂的过程,目前要精确地模拟其驱动变化还比较困难:(1)驱动力因子的获取方式及统计指标等难以规范和统一,对湿地预测带来了一定的影响。(2)关

于湿地的演化机制,以及湿地特征单元的描述等理论问题有待更深一步的探索研究。(3)ANN-CA模型系统虽然具有非线性、自组织、自学习等特性,但要精确地预测湿地的发展变化还非常困难,这主要是由于神经网络内部的“黑箱子”结构,用户不能清晰地知道模型的运行机制,并且对众多模型参数的具体物理意义很难理解。

参考文献:

- [1] Yuan H, Zhang R Q. Changes in wetland landscape patterns on Yinchuan Plain, China[J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2010,17(3):236-243.
- [2] 刘振乾,段舜山,李爱芬,等.湿地蓄水量动态SD仿真研究[J].地理与地理信息科学,2004,20(1):54-56.
- [3] 李洪,宫兆宁,赵文吉,等.基于Logistic回归模型的北京市水库湿地演变驱动力分析[J].地理学报,2012,67(3):357-367.
- [4] 郝敬锋,刘红玉,李玉凤,等.基于转移矩阵模型的江苏海滨湿地资源时空演变特征及驱动机制分析[J].自然资源学报,2010,25(11):1918-1929.
- [5] 刘红玉,李玉凤,曹晓,等.我国湿地景观研究现状、存在的问题与发展方向[J].地理学报,2009,64(11):1394-1401.
- [6] 徐延达,傅伯杰,吕一河.基于模型的景观格局与生态过程研究[J].生态学报,2010,30(1):212-220.
- [7] 王铮,隋文娟,姚梓璇,等.地理计算及其前沿问题[J].地理科学进展,2007,26(4):1-10.
- [8] 张荣群,宋乃平,王秀妮,等.盐渍土时空变化信息的图谱可视化分析[J].农业工程学报,2012,28(9):230-235.
- [9] 黎夏,叶嘉安,刘小平,等.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.
- [10] Almeida C M, Gleriani J M, Castejon E F, *et al.* Using neural networks and cellular automata for modeling intra-urban land use dynamics[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2008,22(9):943-963.
- [11] 赵晶,陈华根,许惠平.元胞自动机与神经网络相结合的土地演变模拟[J].同济大学学报(自然科学版),2007,35(8):1128-1132.
- [12] 柯新利,邓祥征.内嵌空间聚类算法的分区地理元胞自动机建模与应用[J].地球信息科学学报,2010,12(3):365-371.
- [13] 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[J].地理研究,2005,24(1):19-27.
- [14] 曹敏,史招良.基于遗传神经网络获取元胞自动机的转换规则[J].测绘通报,2010,58(3):24-28.
- [15] A-Kheder S, Wang J, Shan J. Fuzzy inference guided cel-

- lular automata urban-growth modelling using multi-temporal satellite images[J]. *Geographical Information Science*, 2008(22):1271-1293.
- [16] 马建林,何彤慧. 银川平原湿地的初步研究[J]. *宁夏大学学报(自然科学版)*, 2002, 23(4):377-380.
- [17] 王一鸣. 宁夏人地关系研究[M]. 宁夏: 宁夏人民出版社, 2005.
- [18] Yuan H, Zhang R Q, Song N P, *et al.* Study on wetland change detection and underlying causes analysis in Yinchuan Plain, China[J]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2010, 8(2):132-134.
- [19] 宁夏统计年鉴编委会. 宁夏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [20] 张荣群, 袁勘省, 袁慧. 银川平原湿地空间分布格局图谱[J]. *湿地科学与管理*, 2012, 8(4):43-44.
- [21] 董婷婷, 左丽君, 张增祥. 基于 ANN-CA 模型的土壤侵蚀时空演化分析[J]. *地球信息科学学报*, 2009, 11(1):132-138.
- [22] 袁慧. 银川平原湿地景观格局演化规律研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2010.

The Scenarios Simulation Analysis of Driving Forces of Wetland Landscape Evolution Using ANN-CA in Yinchuan Plain

ZHANG Meimei¹, ZHANG Rongqun^{2*}, HAO Jinmin³ and AI Dong³

(1. *Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Beijing 100094, China*; 2. *College of Information and Electrical Engineering,*

China Agricultural University, Beijing 100083, China;

3. *College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China*)

Abstract: Wetland landscape spatio-temporal dynamic development process is more important than the ultimate form of its spatial pattern. Only clearly understand wetland dynamic development process, the theory and decision support of wetland resources protection and sustainable utilization can be provided. In this paper, Yinchuan Plain wetland landscape evolution driving force analysis model was established, full considering the causal relationship between the geographical phenomena in space and time. The transform rules of cellular automata (CA) were built with the model of artificial neural network (ANN), which reduced the man-made subjective factors, and improved the accuracy. Comparing the prediction results with actual wetland types, it concludes that the prediction accuracy reaches about 84.24%. Three driving force factors as annual precipitation, population density and agriculture gross output value were selected for the scenarios simulation of wetland landscape pattern. The scenarios simulation results show that, average annual rainfall has more significant driving force to natural wetland, in the process of reduced by 10% to increased by 10%, the area of river and lake wetlands continues to increase, with river wetland increased 26.3844 km² and lake wetland 22.4100 km². Rice paddies and ponds maintain a steady growth. Population density has more significant driving force to artificial wetland. With the growth rate of population density changing from 8 ‰ to 18.7 ‰, rice paddies and ponds expanded greatly, i.e. 19.4364 km² and 18.2088 km², respectively. But the area of natural wetlands (river and lake wetlands) decreased gradually, and the construction land increased markedly. Total agricultural output also has more significant driving force to artificial wetlands, but slow reverse inhibition force to natural wetlands. When the growth rate of total agricultural output changes from 4.5% to 6.5%, artificial wetlands such as rice paddies and ponds expand rapidly, increasing 21.5604 km² and 19.1880 km², respectively; river and lake wetlands decrease slowly; and the construction land and the Yellow River washland remain basically unchanged.

Key words: cellular automata; neural network; wetland; driving force; scenarios simulation; Yinchuan Plain

*Corresponding author: ZHANG Rongqun, E-mail: zhangrq@cau.edu.cn