

# 基于 CA-MARKOV 模型的江苏沿海 土地利用变化情景分析

许小娟<sup>1,2,3</sup>, 刘会玉<sup>1,2,3</sup>, 林振山<sup>1,2,3</sup>, 刘金雪<sup>1,2,3</sup>, 李丽鹤<sup>1,2,3</sup>

(1. 南京师范大学 地理科学学院, 南京 210023; 2. 江苏省环境演变与生态建设重点实验室,  
南京 210023; 3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023)

**摘 要:**以江苏沿海为例, 基于 2000 年、2005 年、2010 年 TM 影像解译数据, 分析了江苏沿海土地利用类型的动态变化, 结合转移矩阵和 CA-Markov 模型, 设定了自然发展趋势、生态环境保护管理和城市规划与区域发展 3 种不同的情景进行模拟预测。结果表明: (1) 2000—2010 年耕地、草地、林地面积有所减少, 其他面积有所增加, 2005—2010 年城乡居民用地增加 1 341.45 km<sup>2</sup>, 耕地减少 1 147.65 km<sup>2</sup>, 城镇化发展速度较快, 建设用地占用大量生态用地。 (2) 自然发展趋势情景与生态保护情景相比, 林地、草地的面积变化不大, 仅城乡居民用地面积多出 583.68 km<sup>2</sup>, 说明该情景既保护生态环境也保证城乡发展; 生态保护情景下城乡居民用地面积 10 年间仅增长 684.78 km<sup>2</sup>, 说明该情景下生态环境虽然得到保护, 但也限制了该区域城镇化发展; 城市规划与区域发展情景下城乡居民用地比 2010 年增加 3 963.35 km<sup>2</sup>, 而耕地、林地和草地面积大幅度减少, 说明过分强调城市的发展, 不仅会导致耕地面积大幅减小, 威胁粮食安全, 也会对当地的生态系统带来巨大的危害。通过对不同情景的模拟, 可为区域土地规划、生态保护以及可持续发展提供决策依据。

**关键词:**土地利用; 情景模拟; CA-Markov 模型; 江苏沿海

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)01-0213-06

## Scenario Analysis of Land Use Change in Jiangsu Coast Based on CA-Markov Model

XU Xiaojuan<sup>1,2,3</sup>, LIU Huiyu<sup>1,2,3</sup>, LIN Zhenshan<sup>1,2,3</sup>, LIU Jinxue<sup>1,2,3</sup>, LI Lihe<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Nanjing 210023, China; 3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Taking Jiangsu coast as study area, the dynamics change degree of land use type was analyzed based on the interpretation data from TM image in 2000, 2005 and 2010. Combining transition matrix and CA-Markov model, three scenarios were proposed, which were natural trend scenario, ecological environmental management scenario and urban planning and regional development scenario. The results showed that: (1) from 2000 to 2010, the areas of farmland, grassland and forestland decreased, while areas of construction land, water body and unused land continued to expand; because of the rapid development of urbanization from 2005 to 2010, a large area of land was needed; during this period, the construction land expanded by 1 314.45 km<sup>2</sup> while the farmland reduced by 1 147.65 km<sup>2</sup>; (2) compared with ecological environmental management scenario, the area of the ecological land changed a little under natural trend scenario though the construction land increased by 583.68 km<sup>2</sup>, indicating that the natural trend scenario could not only protect ecological environment but also ensure urban and rural development; under ecological environmental management scenario, however, the construction land only expanded by 684.78 km<sup>2</sup> in a decade, which was the slowest, indicating that under this scenario the ecological environment could be protected at the cost of the urban and rural development; under the urban planning and regional development scenario, the area of construction land expanded by 3 963.35 km<sup>2</sup> compared with that of 2010; meanwhile, the farmland, forestland and grassland decreased sharply. In conclusion, with too much attention on urban develop-

收稿日期: 2016-01-18

修回日期: 2016-01-29

资助项目: 国家自然科学基金(31470519); 江苏省自然科学基金(BK20131399); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目

第一作者: 许小娟(1990—), 女, 江苏东海人, 硕士生, 研究方向为全球变化生态学。E-mail: kattyxiaoj@163.com

通信作者: 刘会玉(1978—), 女, 湖南辰溪人, 教授, 主要从事全球变化生态学研究。E-mail: liuhuiyu@njnu.edu.cn

ment, farmland will face the substantial reduction, which will threaten the stability of the grain market, and the local ecosystem will be faced with a huge loss. The simulation results can provide reference for the regional land planning, ecological protection and sustainable development.

**Keywords:** land use; CA-Markov Model; scenario simulation; Jiangsu coast

土地利用变化能够对区域生态环境产生直接或间接的影响,其动态变化是全球和区域环境变化研究的重要课题<sup>[1]</sup>。随着经济社会的快速发展和全球变化研究的深入开展,土地利用变化显著,土地利用矛盾日益加剧<sup>[2]</sup>。分析当前土地利用变化的特点,通过情景分析方法,建立模型模拟预测未来土地动态变化<sup>[3]</sup>,探讨不同情景下土地利用的空间格局变化,有助于揭示人类活动影响下区域环境的变化过程及机理,为区域土地合理开发利用、区域生态保护及可持续发展提供决策依据。

目前,国内外模拟土地利用动态变化的模型有很多<sup>[4]</sup>,常见的有元胞自动机(CA)<sup>[5]</sup>、系统动力学(SD)<sup>[6]</sup>、马尔可夫(Markov)<sup>[7]</sup>、CLUE<sup>[8]</sup>、CLUE-S<sup>[9]</sup>、SLEUTH<sup>[10]</sup>、基于智能体的(Agent-based)模型<sup>[11]</sup>、空间 Logistic 模型<sup>[12]</sup>等。元胞自动机—马尔可夫(CA-Markov)模型耦合了 CA 模型模拟复杂时空变化能力和 Markov 模型长期预测的优势,具有很强的科学性和实用性<sup>[13-15]</sup>。但这些研究主要依据当前土地利用变化自然规律来动态模拟未来土地利用变化,而没有考虑生态环境保护和城市规划与区域发展等土地利用规划影响下的不同土地利用情景,从而不能全面合理地预测不同情景下的未来土地利用变化。

江苏沿海作为海陆两大生态系统的交错带,是生态相对敏感和脆弱的过渡区<sup>[16]</sup>。随着《江苏沿海地区发展规划》正式上升为国家战略,江苏沿海的开发正逐步影响江苏沿海土地利用结构的变化,总体上生态用地减少,城乡用地增长较快,产生了一系列生态环境问题,使得沿海发展战略的实施与环境保护之间的矛盾日益加重<sup>[17]</sup>。本文选取江苏沿海为研究区,运用转移矩阵分析 2000—2010 年江苏沿海土地利用时空变化,结合 CA-Markov 模型和 MCE 法,分 3 种情景即:自然发展趋势情景、生态环境保护管理情景和城市规划与区域发展情景,模拟预测 2020 年江苏沿海土地利用变化,以期为研究区土地利用规划与政策提供依据。

## 1 研究区概况

江苏省沿海地区包括连云港、盐城和南通 3 市所辖行政区域,地理坐标为东经 118°24′—121°55′,北纬 31°01′—35°07′。该区域陆域面积 3.25 万 km<sup>2</sup>,海

岸线长 954 km,是长江三角洲的重要组成部分,区位优势独特,拥有 6 873 km<sup>2</sup> 滩涂资源,土地后备资源丰富,耕地资源 23 742.34 km<sup>2</sup>,为该区主要土地利用类型,约占 71.63%,其次是城乡居民用地(14.73%)和水域(10.46%)。研究区处于北亚热带向暖温带过渡区域,属于海洋性气候,冬冷夏热,受季风气候影响显著,年平均降水量 900~1 500 mm,南部降水多,北部降水少,年平均气温 13~15℃<sup>[18]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源与处理

本研究数据来源于地球系统科学数据共享平台,该平台提供江苏沿海 1:10 万土地利用变化数据(1980s—2010 年),数据的属性值与其真值基本相符合,定性准确率 80%~90%以上(不同土地类型有所差异)。主要范围为行政区划,包括江苏省沿海连云港市、盐城市、南通市。本论文选取覆盖连云港、盐城和南通的 2000 年、2005 年和 2010 年 3 期土地利用矢量数据,以《土地利用现状分类》(GB/T21010—2007)标准为基础,分为耕地、城乡居民用地、水域、草地、林地和未利用土地共 6 个一级地类,以 2000 年土地利用现状图为准,分别计算 2000 年、2005 年、2010 年土地利用类型面积,在 ArcGIS 中将各类用地进行统一投影、坐标系和分辨率。投影坐标为 Albers,分辨率统一采用 100 m。

### 2.2 CA-Markov 模型

马尔科夫模型是一种随机模型,主要用于土地利用变化建模,在马尔科夫过程中,系统的状态只与当前状态有关<sup>[19-20]</sup>,马尔科夫模型描述一个时期到另一个时期的土地利用变化,并以此为基础,预测未来土地利用变化趋势。可用如下公式对土地利用状态进行预测<sup>[21]</sup>:

$$S_{t+1} = P_{ij} S_t \quad (1)$$

式中: $S_t, S_{t+1}$  为  $t, t+1$  时刻土地利用系统的状态; $P_{ij}$  为状态转移矩阵。

元胞自动机具有强大的空间运算能力,它是一种时间、空间、状态都离散,空间相互作用和时间因果关系都为局部的网格动力学模型,具有模拟复杂系统时空演化过程的能力<sup>[22]</sup>。CA 模型可用下式表示为<sup>[23]</sup>:

$$S_{t+1} = f(S_t, N) \quad (2)$$

式中: $S$  为元胞有限、离散的状态集合; $N$  为元胞的邻域; $t,t+1$  为不同的时刻; $f$  为局部空间的元胞转换规则。

CA 模型与 Markov 模型的结合,在 Markov 基础上加入空间权重因子,既有 CA 模拟复杂时空变化能力,又具备 Markov 模型长期预测的优势,确保土地利用转变为已存的土地利用类型,而不是完全随机分布。

因此,本文利用 IDRISI 17.0 软件,将 CA 模型内嵌到程序中,结合 Markov 模型形成 CA-Markov 模型,在 IDRISI 软件的 MCE 模块中确定每个栅格单元土地利用类型概率,从而得到土地利用类型空间分布概率适宜性图集;通过 Markov 模块,得到江苏沿海 2000 年和 2010 年的土地利用面积转移矩阵和概率转移矩阵;根据不同情景设定要求,得到不同情景下的转移矩阵,将 2010 年的土地利用栅格图以及不同情景的转移矩阵和适宜性图集输入 CA-Markov 模块,得到不同情景下 2020 年江苏沿海的土地利用变化。

2.3 不同土地利用模拟情景设定

情景分析方法是假设当前某种现象能够持续到未来,对未来可能出现的情况及后果做出预测的方法。情景分析方法是用于解决资源、生态环境和区域发展的一种辅助决策方法,多用于生态环境保护和区域发展规划<sup>[24-25]</sup>。结合 CA-Markov 模型和 MCE 法,设定自然发展趋势情景、生态环境保护管理情景和城市规划与区域发展情景 3 种不同的情景,分析不同情景下 2020 年土地利用变化,可为江苏沿海土地

利用规划提供多种参考。

情景 1 为自然发展趋势情景:土地利用变化依据自身发展过程进行演化,即 Markov 链按自然演化过程下的土地利用空间变化规律,把 2005—2010 年的转移矩阵和适宜性图集导入模型后,得到 2020 年情景 1 土地利用变化;

情景 2 为生态环境保护情景:依据《江苏省土地利用总体规划》、《连云港市土地利用总体规划》、《盐城市土地利用总体规划》、《南通市土地利用总体规划》中保护和合理利用农用地,严格保护耕地,加强基本农田保护和建设等规定,限制城乡居民用地侵占成片的耕地、草地和林地,合理保护生态用地,将水域、林地和草地等地类设成不可转变区域,同时减少其他地类对耕地的占用,在转移矩阵的设置上,减少耕地转成其他用地的可能性,保护农业用地;

情景 3 为城市规划与区域发展情景:依据《江苏沿海地区发展规划》中加快连云港、盐城、南通 3 个中心城市建设,形成功能清晰的沿海产业和城镇带等规定,突出城市规划和区域发展对城市扩张的影响作用,扩大城乡居民用地空间布局,将部分耕地、林地、草地设置为可转换地类,加大转出比例,并增加其他用地转出为城市居民用地的可能性。

3 结果与分析

3.1 区域土地利用特征分析

3.1.1 土地利用面积变化分析 利用 2000 年、2005 年和 2010 年土地利用数据,ArcGIS 10.0 统计分析,得出江苏沿海 3 个时期的土地利用类型面积(表 1)。

表 1 江苏沿海各时期不同土地利用类型面积

地类	2000 年		2005 年		2010 年	
	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
城乡居民用地	3860.42	11.64	4062.66	11.85	4884.28	14.73
耕地	24863.83	75.00	24709.29	72.36	23742.34	71.63
林地	356.84	1.08	414.65	1.21	324.07	0.98
草地	1051.40	3.17	896.26	2.62	604.15	1.82
水域	3018.72	9.11	3081.70	9.02	3466.37	10.46
未利用土地	2.00	0.01	0.66	0.00	126.71	0.382
合计	33153.21	100.00	33149.03	100.00	33145.22	100

由表 1 可见,2000—2010 年江苏沿海土地利用总体结构以耕地为主,面积比例均超过 70%,其次是居民用地和水域。草地、林地和未利用土地面积所占份额较小,表明江苏沿海以农业用地为主,符合区域经济和社会特点。近 10 年来,耕地、林地和草地等用地明显减少,变化最明显的是耕地,面积减少 1 121.49 km<sup>2</sup>,草地面积由 2000 年的 1 051.40 km<sup>2</sup>

减少到 2010 年的 604.15 km<sup>2</sup>。城乡居民用地显著增加,增长幅度达 3.1%,说明该区域人口压力增大,在经济利益驱动下,致使人们加大对耕地、草地等农业用地的开发利用力度,导致该区域粮食减少,生态环境破坏。2005—2010 年水域增长速度较快,增长 384.67 km<sup>2</sup>,主要归因于自然因素;未利用土地在 2005—2010 年迅速增长,由 0.656 km<sup>2</sup> 增加到 126.709

km<sup>2</sup>,大部分是由草地和耕地转换而来,人类过度开发利用土地,使得部分农业用地不断退化,逐渐变成未利用土地,破坏了区域生态环境。

3.1.2 土地利用结构转换分析 通过土地利用转移

面积矩阵可以充分了解某种土地利用类型的转移方向、补充来源以及整个江苏沿海土地利用时空演变的过程<sup>[24]</sup>,在 ArcGIS 中得到 2000—2005 年、2005—2010 年的土地利用面积转移矩阵,如表 2—3 所示。

表 2 2000—2005 年江苏沿海土地利用面积转移矩阵 km<sup>2</sup>

时间	地类	2005 年					
		草地	城乡居民用地	耕地	林地	水域	未利用土地
2000 年	城乡居民用地	1.59	3828.01	26.20	0.68	3.39	0.00
	耕地	1.09	147.71	24674.71	07.71	32.61	0.00
	林地	0.00	0.14	0.77	355.54	0.38	0.00
	草地	790.18	17.49	0.03	40.25	203.33	0.00
	水域	103.19	53.35	7.57	10.47	2840.10	0.00
	未利用土地	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	0.66

表 3 2005—2010 年江苏沿海土地利用面积转移矩阵 km<sup>2</sup>

时间	地类	2010 年					
		草地	城乡居民用地	耕地	林地	水域	未利用土地
2005 年	城乡居民用地	29.51	3711.89	13.85	0.00	266.15	24.94
	耕地	0.30	966.94	23619.29	4.51	82.41	35.83
	林地	0.00	17.04	70.62	319.55	1.13	1.12
	草地	574.12	53.57	22.71	0.00	201.02	44.35
	水域	0.22	132.01	15.87	0.00	2913.66	19.94
	未利用土地	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.52

由江苏沿海土地利用转移面积矩阵可知,城乡居民用地、水域和未利用土地等地类面积增加,主要为其他地类转入,耕地、林地和草地等地类面积减少,主要转出为城乡居民用地、水域。城乡居民用地面积净转入 1 388.38 km<sup>2</sup>,主要来自耕地、草地和水域;水域净转入 791.39 km<sup>2</sup>,主要来源于城乡居民用地、草地和耕地;耕地面积净转出 1 279.11 km<sup>2</sup>,主要转出为城乡居民用地和水域,2005—2010 年共 966.94 km<sup>2</sup>耕地转出为城乡居民用地;2005—2010 年草地中共有 53.57 km<sup>2</sup>转出为城乡居民用地,44.35 km<sup>2</sup>转出为未利用土地,2005—2010 年林地共有 70.62 km<sup>2</sup>转为耕地。

3.2 CA-Markov 模型模拟结果与分析

Kappa 系数的判定标准为:如果两个土地利用/覆盖变化(Land Use/Land Cover Change,LUCC)图

像完全一样,则 Kappa=1;当 Kappa≥0.75 时,表明一致性较高,误差较小;当 Kappa≤0.4 时,一致性较差,LUCC 模拟误差较大<sup>[26]</sup>。通过 Crosstab 模块对解译结果图和模拟结果图进行统计,获得 Kappa 系数,定量反映模型模拟的准确性。本文对江苏沿海 2010 年实际解译结果图和模拟结果图进行统计,得到 Kappa 系数为 0.941 3,反映模拟结果可信度较高,表明 CA-Markov 模型可以用来模拟预测江苏沿海土地利用。

以 2010 年江苏沿海土地利用为初始值,按当前土地利用发展趋势,制定适宜性图集,预测 2020 年江苏沿海土地利用,即为情景 1。在情景 1 基础上,通过对土地利用状态转移概率矩阵修正以及 MCE 适宜性图集的制作实现不同土地利用情景的设定,得出情景 2 和情景 3 的模拟结果(表 4)。

表 4 江苏沿海 2010 年和不同情景下 2020 年土地利用面积变化 km<sup>2</sup>

地类	2010 年	2010 年情景 1		2010 年情景 2		2010 年情景 3	
	面积	面积	面积变化	面积	面积变化	面积	面积变化
城乡居民用地	4884.28	6033.64	1152.06	5566.36	684.78	8847.63	3966.05
耕地	23742.34	23158.66	-583.68	23533.32	-209.02	20681.02	-3061.32
林地	324.07	154.57	-169.50	184.57	-139.50	108.23	-215.84
草地	604.15	469.82	-134.33	513.95	-90.20	433.22	-170.93
水域	3466.37	3401.39	-64.98	3421.78	-44.59	2918.98	-547.39
未利用土地	126.71	171.50	44.36	118.50	-8.21	348.36	221.65

从表 4 可见,情景 1、情景 2 和情景 3 的江苏沿海土地利用类型面积总体变化趋势相似,即城乡居民

用地面积增加,草地、耕地和林地面积减少。  
情景 1 与情景 2 相比较,生态用地变化很小,耕

地面积的变化幅度也不大,仅城乡居民用地面积增加 469.28 km<sup>2</sup>,说明情景 1 对生态环境和耕地的影响较小,同时能够保证江苏沿海城镇化的发展。情景 2 以保护生态为前提,与情景 1 相比,城乡居民用地面积减少,耕地、林地和草地等生态用地面积增加 445.82 km<sup>2</sup>,耕地、林地和草地等生态用地得以保护,但该情景限制了城镇化的发展,符合情景假设。情景 3 城乡居民用地面积相比 2010 年增长近 1 倍,耕地面积减

少 3 061.32 km<sup>2</sup>,林地减少近 2/3,草地只剩 433.22 km<sup>2</sup>,水域减少到 2 918.98 km<sup>2</sup>,城镇化发展速度太快,对当地生态环境造成相当大的危害,如果按照情景 3 发展下去,未来江苏沿海生态用地面积会以较快的速度减少甚至消失。

为了分析江苏沿海土地利用变化的结构特征和各种土地类型转移的方向,给出 3 种不同情景下的土地利用概率转移矩阵(表 5—7)。

表 5 2010—2020 年情景 1 江苏沿海土地利用概率转移矩阵

时间	地类	2020 年					
		草地	城乡居民用地	耕地	林地	水域	未利用土地
2010 年	城乡居民用地	0.0010	0.8497	0.1436	0.0000	0.0057	0.0000
	耕地	0.0000	0.1758	0.8195	0.0000	0.0000	0.0046
	林地	0.0000	0.2674	0.5010	0.2189	0.0001	0.0126
	草地	0.6610	0.2219	0.0098	0.0000	0.0000	0.1072
	水域	0.0000	0.0898	0.0963	0.0000	0.7919	0.0219
	未利用土地	0.0000	0.4737	0.0000	0.0000	0.0000	0.5263

表 6 2010—2020 年情景 2 江苏沿海土地利用概率转移矩阵

时间	地类	2020 年					
		草地	城乡居民用地	耕地	林地	水域	未利用土地
2010 年	城乡居民用地	0.0000	0.8497	0.1503	0.0000	0.0000	0.0000
	耕地	0.0000	0.1622	0.8346	0.0000	0.0000	0.0032
	林地	0.0000	0.1931	0.3201	0.4835	0.0001	0.0126
	草地	0.7228	0.1525	0.0658	0.0000	0.0000	0.0590
	水域	0.0000	0.0899	0.1004	0.0000	0.7917	0.0180
	未利用土地	0.0000	0.5319	0.0000	0.0000	0.0000	0.4681

表 7 2010—2020 情景 3 江苏沿海土地利用概率转移矩阵

时间	地类	2020 年					
		草地	城乡居民用地	耕地	林地	水域	未利用土地
2010 年	城乡居民用地	0.0000	0.8497	0.1440	0.0000	0.0000	0.0062
	耕地	0.0000	0.2666	0.7263	0.0000	0.0000	0.0071
	林地	0.0000	0.2927	0.3924	0.2836	0.0011	0.0303
	草地	0.6095	0.2452	0.0076	0.0000	0.0000	0.1378
	水域	0.0000	0.1625	0.1248	0.0000	0.6743	0.0385
	未利用土地	0.0000	0.4524	0.0000	0.0000	0.0000	0.5476

从表 4—7 可见,3 种情景城乡居民用地面积增加,为其他土地利用类型转入,耕地、草地和林地面积减少,主要转出为城乡居民用地,但转入与转出的程度有所差别。城乡居民用地面积,情景 1 增加 1 152.06 km<sup>2</sup>,情景 2 增加 684.78 km<sup>2</sup>,情景 3 增加 3 966.05 km<sup>2</sup>,情景 2 增长最少,城镇化发展速度较缓,情景 3 增长最快,该情景下共有 26.27%的耕地转出为城乡居民用地,耕地资源损失严重;3 种情景中耕地主要转出为城乡居民用地,情景 1 减少 583.68 km<sup>2</sup>,情景 2 减少 209.02 km<sup>2</sup>,情景 3 减少 3 061.32 km<sup>2</sup>,情景 2 耕地得以保护,情景 3 中耕地面积的急剧减少,在不提高农作物产量前提下,威胁当地粮食安全。林地主要转出为

耕地和居民用地,情景 1 中有 50.10%和 26.74%的林地分别转出为耕地和城乡居民用地,情景 2 和情景 3 分别有 51.65%和 71.64%的林地转出为其他用地,3 种情景中均有超 50%的林地转出,林地是森林资源的重要组成部分,是植树造林、国土绿化的前提条件,也是维护生态安全、满足人民群众对生态环境需求的前提,江苏沿海未来规划应注重林地保护。情景 1 草地面积减少 134.33 km<sup>2</sup>,其中 22.19%转出为城乡居民用地,情景 2,15.25%的草地面积转出为城乡居民用地,转出最少,情景 3 草地面积减少近 1/3,其中 24.52%转出为城乡居民用地。草地和林地转出过多,威胁当地的生态环境。

## 4 讨论与结论

(1) 通过转移矩阵模型,分析 2000—2010 年江苏沿海土地利用类型变化特征和趋势,结果表明:2000—2010 年江苏沿海耕地、草地和林地面积有所减少,城乡居民用地、水域和未利用土地面积有所增加,2005—2010 年土地利用变化速度明显高于 2000—2005 年,2005—2010 年城镇化发展速度较快,急需大量土地,城乡用地占用大量生态用地,该阶段城乡用地增加 1 341.45 km<sup>2</sup>,耕地减少 1 147.65 km<sup>2</sup>,生态用地的急剧减少,对当地生态环境造成相当大的危害。

(2) 谢薇等<sup>[27]</sup>认为江苏沿海建设用地需求大,滩涂围垦管理难,对生态环境造成危害,需要实施科学的土地利用策略。本文结合 CA-Markov 模型和 MCE 法,设定自然发展趋势情景、生态环境保护管理情景和城市规划与区域发展情景 3 种不同的情景,分析不同情景下 2020 年土地利用变化,为江苏沿海土地利用规划提供多方面参考。研究表明:3 种情景下土地利用类型面积变化趋势相似,城乡居民用地面积增加,草地、耕地和林地面积减少。从 3 种情景对比中可以看出,3 种情景中,情景 2 相比情景 1、情景 3 可以起到保护耕地、林地和草地等生态用地的作用,但是城乡居民用地面积 10 年间仅增加 684.78 km<sup>2</sup>,增速过于缓慢,限制了城镇化的发展,情景 3 相比其他两种情景,各类土地利用类型面积变化最显著,城镇化增速最快,说明过分强调城市的发展,不仅会导致耕地面积大幅减小,威胁粮食安全,同时,也会破坏原本土地利用结构,威胁当地生态安全。情景 1 的耕地、林地、草地和城乡居民用地面积介于情景 2 和情景 3 之间,在保证城镇化发展的前提下兼顾生态保护,江苏沿海未来规划既要兼顾城镇化建设的发展,又要合理保护生态。

(3) 土地利用变化模拟具有不确定性,往往受经济、社会和人类活动等很难量化的因素影响,不同情景仅能代表相应土地利用变化的可能性,不是最终确定的变化结果。模型中虽然可以从各类土地利用类型的约束条件来确定元胞转换规则,但是没有考虑综合土地利用的社会和经济因素,并且受到数据来源精确度影响,在一定程度上限制了模型模拟结果的精确性<sup>[28]</sup>。因此,未来的研究需要进一步提高模型的精度、可靠性和实用性,以期能够引导江苏沿海土地利用与生态保护可持续发展。

### 参考文献:

[1] 邢容容,马安青,张小伟,等. 基于 Logistic-CA-Markov

模型的青岛市土地利用变化动态模拟[J]. 水土保持研究,2014,21(6):111-114.

- [2] Garrett R D, Lambin E F, Naylor R L. The new economic geography of land use change: Supply chain configurations and land use in the Brazilian Amazon[J]. Land Use Policy, 2013,34(12):265-275.
- [3] 张华兵,刘红玉,郝敬锋,等. 自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异[J]. 生态学报,2012,32(1):101-110.
- [4] 胡远满,李月辉,苏海龙,等. 基于 CLUE-S 模型和 Markov 模型的城镇土地利用变化模拟预测:以江苏省常熟市辛庄镇为例[J]. 资源科学,2011,33(12):2262-2270.
- [5] 韩玲玲,何政伟,唐菊兴,等. 基于 CA 的城市增长与土地增值动态模拟方法探讨[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(2):32-35.
- [6] 谢正磊,许学工,孙强. 基于 Patch-Dynamics 模式的土地覆被变化预测:以北京市为例[J]. 北京大学学报:自然科学版,2008,44(3):452-458.
- [7] 朱萌,马孝义,刘雪娇. 基于马尔科夫模型的武功县土地利用/覆被动态变化研究[J]. 水土保持研究,2013,20(5):64-68.
- [8] Wehner S, Herrmann S, Berkhoff K. CLUENaban: A land use change model combining social factors with physical landscape factors for a mountainous area in Southwest China [J]. Ecological Indicators, 2014, 36(1):757-765.
- [9] 戴声佩,张勃. 基于 CLUE-S 模型的黑河中游土地利用情景模拟研究:以张掖市甘州区为例[J]. 自然资源学报,2013,28(2):336-348.
- [10] 李明杰,钱乐祥,吴志峰,等. 广州市海珠区高密度城区扩展 SLEUTH 模型模拟[J]. 地理学报,2010,65(10):1163-1172.
- [11] 余强毅,吴文斌,唐华俊,等. 复杂系统理论与 Agent 模型在土地变化科学中的研究进展[J]. 地理学报,2011,66(11):1518-1530.
- [12] 梁辰,王诺. 基于 Logistic 回归的沿海经济区建设用地演变驱动因素研究:以大连市新市区为例[J]. 地理科学,2014,34(5):556-562.
- [13] Yang X, Zheng X Q, Chen R. A land use change model: Integrating landscape pattern indexes and Markov-CA[J]. Ecological Modelling, 2014,283(7):1-7.
- [14] Maithani S. Cellular automata based model of urban spatial growth[J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2010,38(4):604-610.
- [15] Nourqolipour R, Shariff A R B M, Balasundram S K, et al. A GIS-based model to analyze the spatial and temporal development of oil palm land use in Kuala Langat district, Malaysia [J]. Environmental Earth Sciences, 2014,73(4):1687-1700.

(下转第 225 页)

[4] Xiuhong WANG, Jianxiu SHEN. Sustainability Analysis of Cropland Use in Cropping-Pastoral Ecotone before and after the Grain-for-Green Policy: A Case Study from Yanchi County in Ningxia[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2013,14(1):88-93.

[5] 胡兵辉,廖允成,王克勤等. 北方农牧交错带县域典型农业生态系统结构的对比演变[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(2):35-39.

[6] 张军涛,傅小锋. 东北农牧交错生态脆弱区可持续发展研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2005,15(5):58-62.

[7] 龙胤慧,郭中小,廖梓龙等. 典型草原区水资源承载能力评价方法研究[J]. *水土保持研究*, 2014,21(3):222-226.

[8] 齐跃普,崔永清,李新旺. 通辽北部农牧交错生态脆弱区农地利用强度与潜力分析[J]. *自然资源学报*, 2010,25(12):2072-2080.

[9] 金鑫. 农牧交错生态脆弱区农村可持续发展制约因素分析:以通辽市为例[J]. *前沿*, 2013(22):77-79.

[10] 马吉巍,郭翔宇,付强等. 区域农业水土资源复杂适应系统配置研究:以三江平原为例[J]. *水土保持研究*, 2014,21(3):256-260.

[11] 郑久瑜,赵西宁,操信春等. 河套灌区农业水土资源时空匹配格局研究[J]. *水土保持研究*, 2015,22(3):132-136.

[12] 丁日佳,刘娜. 基于层次分析法的煤矿可持续发展研究[J]. *煤炭技术*, 2014,33(9):31-33.

[13] 刘晓君,付汉良. 基于变权信息熵改进 TOPSIS 法的水资源承载力评价[J]. *水土保持通报*, 2015,35(6):34-39.

[14] 桓颖,张文静,王楠. 基于主成分分析的吉林西部地区农业水资源承载力评价[J]. *长江科学院院报*, 2014,31(9):11-16.

[15] De W M, Crookes D J. Improved Decision-making on Irrigation Farming in Arid Zones Using a System Dynamics Model[J]. *South African Journal of Science*, 2013,109(11/12):1-8.

[16] 赵松乔. 察北、察盟及锡盟:一个农牧过渡地区经济地理调查[J]. *地理学报*, 1953,19(1):43-60.

[17] 杨志荣,索秀芬. 我国北方农牧交错带人类活动与环境的关系[J]. *北京师范大学学报:自然科学版*, 1996,32(3):415-420.

[18] 白淑英,张树文,张养贞. 农牧交错区 50 年来耕地开发过程及其驱动因素分析:以大庆市杜尔伯特蒙古族自治县为例[J]. *资源科学*, 2005,27(2):71-76.

[19] 孙芳,郭英立. 高寒半干旱农牧交错带退耕还草与畜牧业发展研究:以河北省张家口坝上地区为例[J]. *河北北方学院学报:自然科学版*, 2006,22(6):45-49.

[20] 杨东,杨秀琴. 区域可持续发展定量评估方法及其应用[J]. *西北师范大学学报:自然科学版*, 2001,37(1):83-88.

[21] 王其藩. 系统动力学[M]. 上海:上海财经大学出版社,2009.

[22] Saeed, Khalid. The Dynamics of Economic Growth and Political Instability in the Developing Countries[J]. *System Dynamics Review*, 1986,2(1):20-35.

(上接第 218 页)

[16] 王千,金晓斌,周寅康. 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制[J]. *生态学报*, 2011,31(20):5903-5909.

[17] 曲福田,吴郁玲. 土地市场发育与土地利用集约度的理论与实证研究[J]. *自然资源学报*, 2007,22(3):445-454.

[18] 叶正伟. 江苏沿海开发地区近 50 年来降水演变特征与趋势[J]. *水土保持研究*, 2015,22(1):176-180.

[19] Huang Y, Nian P, Zhang W. The prediction of interregional land use differences in Beijing: a Markov model[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015,73(8):4077-4090.

[20] Wu C D, Cheng C C, Lo H C, et al. Application of SEBAL and Markov models for future stream flow simulation through remote sensing[J]. *Water Resources Management*, 2010,24(14):3773-3797.

[21] Ma C, Zhang G Y, Zhang X C, et al. Application of Markov model in wetland change dynamics in Tianjin Coastal Area, China[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012,13(3):252-262.

[22] 韩玲玲,何政伟,唐菊兴,等. 基于 CA 的城市增长与土地增值动态模拟方法探讨[J]. *地理与地理信息科学*, 2003,19(2):32-35.

[23] 王东辉,张利权,管玉娟. 基于 CA 模型的上海九段沙互花米草和芦苇种群扩散动态[J]. *应用生态学报*, 2007,18(12):2807-2813.

[24] Bormann H, Breuer L, Gräff T, et al. Analysing the effects of soil properties changes associated with land use changes on the simulated water balance: A comparison of three hydrological catchment models for scenario analysis[J]. *Ecological Modelling*, 2007,209(1):29-40.

[25] 刘波,肖子牛. 澜沧江流域 1951—2008 年气候变化和 2010—2099 年不同情景下模式预估结果分析[J]. *气候变化研究进展*, 2010,6(3):170-174.

[26] 凌成星,鞠洪波,张怀清,等. 基于 CA-MARKOV 模型的北京湿地资源变化预测研究[J]. *中国农学通报*, 2012,28(20):262-269.

[27] 谢薇,史峻. 江苏沿海开发战略实施中的土地利用问题及对策[J]. *江苏农业科学*, 2012,40(10):350-353.

[28] 张杰,周寅康,李仁强,等. 土地利用/覆盖变化空间直观模拟精度检验与不确定性分析:以北京都市区为例[J]. *中国科学:D 辑*, 2009(11):1560-1569.