

基于 CA-Markov 模型的土地利用景观格局预测研究^①

潘月^{1,2}, 于东升^{1,2*}, 王秀虹^{1,2}, 徐志超^{1,2}, 王玺洋^{1,2}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 土地利用景观格局分析及预测, 对平衡经济发展和生态保护、实现土地可持续生态利用和保护管理具有重要意义。本文以江西省抚州市东乡县为例, 利用 2005 年和 2015 年两期遥感影像, 获取东乡县土地利用类型转化数据, 结合景观生态学研究了东乡县近 10 年的土地利用景观格局变化特征; 运用 CA-Markov 模型对土地利用变化过程进行模拟, 预测和分析了东乡县未来 10 年土地利用景观格局特征。结果表明: 东乡县在过去 10 年建设用地、耕地分别增加了 71.82、10.76 km², 水域、林地和未利用地相应减少, 减少幅度顺序为未利用地>水域>林地; 各景观斑块分布均匀, 景观多样性增加; 景观形状趋于简单, 相互之间连通性降低、关系变弱。人类经济活动及土地利用政策对东乡县景观格局有显著影响。到 2025 年东乡县建设用地将增加 68.72 km², 水域、林地和未利用地仍将不断减少, 但耕地有所增加; 景观斑块数增加, 形状略趋复杂; 景观异质程度提高, 有向多样化、均匀化发展的变化趋势。总体来说, 东乡县景观格局正逐步朝着稳定、均匀和多样的方向发展, 但仍需加大力度保护和增加耕地资源, 控制和合理规划建设用地, 维持生态环境平衡。

关键词: 景观格局; 景观指数; CA-Markov 模型; 土地利用; 红壤丘陵区

中图分类号: P901; X171; X87 **文献标识码:** A

土地利用景观格局变化反映了人类在各种经济、社会因素作用下对土地长期和周期性的经营管理作用的结果^[1]。通过对土地利用景观格局的分析及预测可以直观地了解土地利用变化的合理性, 有助于加深对人-地关系的理解, 了解人类社会影响下生态环境的变化趋势, 为制定有效而生态的土地利用管理策略提供理论支持, 更好地平衡经济发展和生态保护。

随着现代学科交叉与融合, 景观生态学在土地利用/覆被变化研究领域中得到快速发展, 利用景观指数定量分析和描述土地利用/覆被格局得到广泛运用^[2]。Tang 等^[3]利用 3 期遥感影像对大庆市景观格局进行研究, 在 20 a 间大庆市城市用地大幅度扩张, 湿地和林地不断萎缩, 在未来的景观格局中城市的扩张会导致自然景观的进一步损失, 湿地和林地将被分散到草地上, 形成一个更加分散的格局。钟林生等^[4]通过对比分析景观指数的变化情况, 评价了乌苏里江国家森林公园总体规划方案的合理性, 表明规划改善了公园的景观空间结构, 景观指数的分析能够明晰公

园景观的空间变化趋势。此类研究多为基于已有土地利用现状的景观指数分析。

近年来, 利用马尔科夫模型(Markov)长期预测优势和元胞自动机(CA)模型模拟复杂系统空间变化的能力, 由两者结合构成的 CA-Markov 模型方法被广泛应用于土地利用变化预测^[5-7], 从数量和空间两方面实现土地利用变化模拟^[8]。Moghadam 和 Helbich^[9]利用 1973 年和 2010 年两期遥感影像采用 CA-Markov 模型对印度孟买 2020—2030 年城市扩张进行预测, 证明未来城市的发展模式是以混合增长模式为特征。Guan 等^[5]利用 1976 年及 2006 年遥感影像采用 CA-Markov 模型预测 2015—2042 年日本佐贺县土地利用变化, 结果表明农业用地和林业用地将不断下降, 城市建设用地不断增加; 城市建设用地将向城郊地区扩张, 城市中心的利用将逐渐下降, 必须采取可持续发展措施解决土地利用问题。此类研究仅注重土地利用面积及空间分布预测, 忽视了从景观生态学角度对土地利用景观格局的预测和分析。

^①基金项目: 国家自然科学基金项目(41571206)、国家重点研发计划专项 (2016YFD0200301)和科技基础性工作专项(2015FY110700-S2)资助。

* 通讯作者(dshyu@issas.ac.cn)

作者简介: 潘月(1987—), 女, 江苏南京人, 博士研究生, 主要从事土壤属性空间变异研究。Email: ypan@issas.ac.cn

本文以江西省抚州市东乡县为研究区域,以两期遥感影像为基础,基于景观指数对 2005—2015 年土地利用景观格局进行分析;并运用 CA-Markov 模型对 2025 年土地利用变化进行预测,结合景观指数预测和分析 2025 年东乡县土地利用景观格局特征,为土地的可持续性利用和生态管理提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

东乡县地处赣东丘陵与鄱阳湖平原过渡地带,位于 $28^{\circ}02' \sim 28^{\circ}30' \text{ N}$, $116^{\circ}20' \sim 116^{\circ}51' \text{ E}$ 。该区属亚热带湿润气候区,平均气温 17.6°C ,年平均日照时间 $1\,831.9 \text{ h}$,年平均降雨量 $2\,180.6 \text{ mm}$,年无霜期为 271 d 。土壤类型以红壤和水稻土两土类为主,其中红壤土类主要包括红壤和红壤性土 2 个亚类;水稻土主要包括淹育、潜育和潜育型水稻土 3 个亚类,土地利用方式以水田、旱地、林地为主^[10]。成土母质有第四纪红色黏土、泥质岩类风化物、红砂岩类风化物、石英岩类风化和花岗岩类风化物等。主要作物有水稻、花生、红薯、芝麻和油菜等。全县总面积 $1\,270 \text{ km}^2$,辖 17 个乡镇(场)和 1 个省级经济开发区。到 2015 年,东乡县总人口 48 万人,城镇人口 22 万人。东乡县为工业重镇,经济活跃,农业大区,特色鲜明。

1.2 数据获取及处理

利用分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的 2005 年 landsat-5 和 2015 年 landsat-8 的 TM 影像数据,通过人机互动目视解译法对遥感影像进行解译,得到两期土地利用状态数据。选取 210 个点进行分类精度评价,得到的 Kappa 系数分别为 0.890 5 和 0.909 5,达到土地利用变化研究精度要求。其中,土地利用分类系统采用中国土地资源分类系统中一级分类^[11],类型包括水域、林地、耕地、建设用地、未利用地(表 1)。

表 1 研究区遥感分类系统及类别定义
Table 1 Remote sensing classification system and definition in study area

类别	描述
水域	包括水塘、河流、湖泊
耕地	包括水田、旱地
林地	包括林地、园地、城市景观绿地
建设用地	包括工矿用地、城镇建设用地
未利用地	包括沼泽地、裸地、裸岩

1.3 土地利用景观指数获取

景观指数是用来量化分析景观格局特征的指数^[12]。在景观指数分析中包括 3 个水平的指数:斑块(patch)、斑块类型(class)和景观(landscape)。斑块水平指数是其他水平景观指数的基础,但不能直接反映研究区整体的景观格局^[13]。因此,在斑块类型水平上,选取了斑块类型面积(CA)、斑块所占景观面积比例(PLAND)、最大斑块占景观面积比例(LPI)、斑块数量(NP)、散布与并列指数(IJI)和景观形状指数(LIS);在景观水平上,选取了最大斑块占景观面积比例(LPI)、斑块数量(NP)、散布与并列指数(IJI)景观形状指数(LSI)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)、聚集度(CONTAG)等指标^[14-18](表 2),作为反映景观格局的特征指数。

通过 ArcGIS 将矢量土地利用图转换成栅格图,根据张乐等^[19]的研究,将矢量图转换为大小为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的 Arc Grid 格式数据,利用 Fragstats4.2 软件分别计算获得上述景观指数值。

1.4 土地利用景观格局预测

马尔科夫模型(Markov)是基于马尔柯夫链,依据某种事件的某一时刻的状况和发生概率,预测其将来各个时刻(或时期)变动状况的一种长期预测方法,确定事件发生转移概率是其中的关键^[20]。元胞自动机模型(CA)是在 20 世纪 40 年代由 Ulam 首先提出之后,被 Von Neumann 用来研究自组织系统演变过程的模型^[21]。单元、状态、规则和邻域是 CA 模型的主要组成部分。每个单元均具有有限数目状态中的一种状态,某一时刻的单元状态依赖于其前一时刻的自身和邻域状态,所有单元状态根据转移规则可同时实现更新^[22]。CA-Markov 模型是在 IDRISI 软件中 Markov 和 CA 的结合模型,它充分利用马尔科夫模型长期预测优势和元胞自动机模型模拟复杂系统空间变化的能力,基于既有土地利用景观格局预测其未来变化^[23],具体操作过程如下:

在 ArcGIS 和 IDRISI 平台下,①先将 2005 年、2015 年两期土地利用图进行数据格式转换和重分类,以适合模型模拟分析数据格式要求;②通过 Markov 模块,计算得到近 10 a 不同土地利用类型的面积转移矩阵和转移概率矩阵,同时输出转移的条件概率图像作为土地利用类型转变适宜性图像集;③通过 CA-Markov 模块,采用 5×5 的滤波器,即影响和改变某个元胞状态的周围 5×5 个元胞组成的矩形邻域,以 2015 年土地利用格局为初始状态,利用条件概率图像预测 10 a 后即 2025 年的土地利用图;

表 2 研究中应用的景观指数及其生态学意义
Table 2 Landscape indices used in study and their ecological significance

指标类型	指标名称	英文缩写	应用尺度	单位	生态学意义
面积指标	斑块类型面积	CA	类型	hm ²	反映景观内物种、能量和养分等信息的差异
	斑块所占景观面积比例	PLAND	类型	%	反映某一斑块类型的总面积占整个景观面积的百分比。用于度量景观的组分, 值趋于 0 时, 说明景观中次斑块类型变得十分稀少; 等于 100 时, 则整个景观只有 1 类组成
	最大斑块占景观面积比例	LPI	类型/景观	%	反映斑块集中程度和景观的优势类型
密度大小及差异性指标	斑块数量	NP	类型/景观		反映景观中某一斑块类型的斑块总个数, 与景观的破碎度很好地正相关。一般是 NP 大, 破碎度高, NP 小, 破碎度低
聚散性指标	散布与并列指数	IJI	类型/景观	%	描述景观空间格局最重要的指标之一。IJI 越高表明同一类型斑块相互临近; 相反则 IJI 指数较低
	蔓延度指数	CONTAG	景观	%	反映景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势。一般高值说明景观中某种优势斑块形成了良好的连接性; 反之则说明景观是具有多要素的密集格局, 景观的破碎化程度较高
多样性指标	香农多样性指数	SHDI	景观		反映景观组分数量和比例的变化情况。由多个组分构成的景观中, 当各组分比例相等时, 多样性指数最高
	香农均匀度指数	SHEI	景观		SHEI 值较小时, 反映景观受一种或几种优势斑块类型所支配; 当 SHEI 趋于 1 时, 说明景观中没有明显的优势类型且斑块类型在景观中均匀分布
形状指标	景观形状指数	LSI	类型/景观		反映整体景观的形状复杂程度, LSI 越接近于 1, 整体景观越简单; LSI 越大, 则越复杂

④利用土地利用预测图和 Fragstats4.2 软件, 计算获得各景观指数预测值。

2 结果与讨论

2.1 近 10 a 土地利用变化特征

2005—2015 年, 东乡县土地利用结构和布局发生了显著的变化(表 3, 图 1A, 图 1B)。建设用地、耕地面积分别增长了 112.33%、2.29%, 但未利用地、水域、林地分别减少了 76.45%、28.66%、6.43%。

抚州市除了东乡县和广昌县的耕地面积增加以外, 其他各县(区)都有所减少^[24], 原因在于东乡县土地利用总体规划(1997—2010 年)切实得到实施, 实行了城乡建设用地增减挂钩项目, 再加上退田还湖政策影响减弱以及新农业政策的推行, 部分水域圩堤内出现了复垦现象^[25], 这都使得耕地面积增加幅度明显^[26](表 4)。林地面积有小幅度下降, 主要转变为耕地和建设用地(表 4), 主要由于政府建设用地增量调控所致。

表 3 东乡县 2005—2015 年及 2015—2025 年土地利用结构及其变化特征(km²)
Table 3 Dynamic changes of land use structures in 2005—2015 and 2015—2025 of Dongxiang County

类型	2005 年		2015 年		2025 年(预测)		2005—2015 年		2015—2025 年(预测)	
	面积(km ²)	百分比(%)	面积(km ²)	百分比(%)	面积(km ²)	百分比(%)	变化值(km ²)	变化率(%)	变化值(km ²)	变化率(%)
水域	91.08	7.15	64.98	5.10	54.54	4.28	-26.11	-28.66	-10.44	-16.06
林地	627.41	49.28	587.05	46.11	526.04	41.32	-40.35	-6.43	-61.01	-10.39
耕地	469.61	36.89	480.37	37.73	482.62	37.91	10.76	2.29	2.25	0.47
建设用地	63.93	5.02	135.75	10.66	205.75	16.16	71.82	112.33	70.00	51.56
未利用地	21.07	1.66	4.96	0.39	4.15	0.33	-16.11	-76.45	-0.81	-16.32

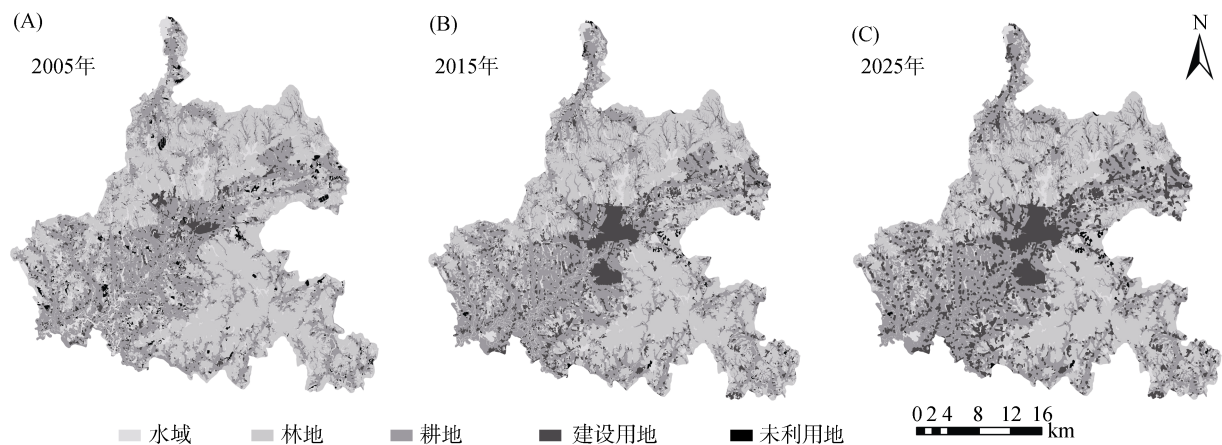


图 1 东乡县土地利用图

Fig. 1 Land-use maps in different years of Dongxiang County

表 4 2005—2015 年东乡县土地利用景观类型转移矩阵(km²)

Table 4 Land use change matrix during 2005—2015 in Dongxiang County

2005 年	2015 年				
	水域	林地	耕地	建设用地	未利用地
水域	47.659 3	7.770 6	28.756 9	6.538 1	0.357 9
林地	7.469 0	521.112 9	62.860 7	33.429 4	2.534 3
耕地	8.591 4	41.724 1	372.366 9	46.146 3	0.783 9
建设用地	0.438 5	7.566 4	10.620 3	45.208 7	0.098 9
未利用地	0.818 0	8.878 1	5.762 9	4.428 2	1.187 0

2.2 近 10 a 土地利用景观格局变化特征

由斑块类型水平指数(表 5)可以看出,近 10 a 研究区水域斑块个数(NP)减少,散布与并列指数(IJI)下降,景观形状指数(LSI)降低,说明其形状复杂程度降低,分布情况变得集中。耕地斑块数量大幅度锐减,最大斑块

占景观面积指数(LPI)降低,景观形状指数降低,表明农业耕种趋于利用面积大的耕地地块;散布与并列指数降低,说明耕地之间的相互临近性降低,与区域内其他景观之间的关系变得简单,连通性降低。这主要是由于耕地整理和农业规模经营使耕地分布更具规律性引起^[27]。

表 5 斑块类型水平上东乡县土地利用各类型景观指数

Table 5 Landscape pattern indices in class level of Dongxiang County

时间	土地利用类型	CA	PLAND	NP	LPI	LSI	IJI
2005 年	水域	91.09	7.155 2	2 199	1.149 8	78.066 0	67.901 4
	未利用地	21.08	1.655 4	290	0.083 3	28.675 7	85.945 2
	耕地	469.58	36.884 7	1 013	19.598 6	85.520 3	73.780 9
	建设用地	63.94	5.022 1	1 621	0.470 1	55.428 1	65.743 8
	林地	627.42	49.282 5	905	17.081 3	66.242 1	62.304 7
2015 年	水域	64.99	5.105 1	787	0.534 3	57.449 5	64.273 0
	未利用地	4.96	0.389 7	39	0.027 8	11.594 2	75.579 4
	耕地	480.38	37.732 7	476	9.871 7	76.604 2	65.996 5
	建设用地	135.74	10.661 9	1 190	2.986 2	51.316 2	61.325 6
	林地	587.04	46.110 7	1 158	12.644 2	63.090 8	59.431 7
2025 年(预测)	水域	54.54	4.283 8	1 570	0.344 1	48.984 4	67.149 0
	未利用地	5.44	0.427 1	110	0.047 6	16.169 2	75.581 2
	耕地	482.62	37.908 8	609	16.697 4	76.403 5	65.681 5
	建设用地	204.47	16.06 1	1 114	3.661 1	52.803 5	58.466 3
	林地	526.04	41.319 3	1 600	11.230 2	66.903 9	62.628 4

近 10 a, 东乡县城市人口从 40 万增加至 48 万, 非农业人口增加了近 9 万人^[24]。东乡县建设用地的最大斑块占景观面积指数也增加(表 5), 说明城镇化对东乡县土地利用的影响十分剧烈;但建设用地的斑块数量在大幅减少, 说明东乡县的建设用地主要以在原有建设用地的基础上扩大面积为主。散布与并列指数有所减少, 说明建设用地之间的临近性降低, 与区域内其他景观之间的关系变得简单, 连通性降低, 这与建设用地的特有分布规律性有关系。

东乡县从 2005—2015 年林地的最大斑块指数有所减少(表 5), 这是建设用地扩张的结果;但林地的斑块数量却在逐渐增大, 最大斑块面积指数和散布与并列指数也在减少, 这些都说明林地分布逐渐从高度聚集到分散, 林地分布趋于发挥其生态功能的合理布局。未利用地斑块数量从 290 减少到 39, 直接反映了当地对土地开发利用强度的增加;散布

与并列指数降低, 反映了东乡县未利用地之间的临近性降低。

从景观类型水平的变化(表 6)来看, 近 10 a, 东乡县整体斑块数量从 6 028 下降到 3 650, 单个斑块的面积增大, 说明东乡县土地利用各类型景观整体趋于集中;最大斑块面积指数降低, 说明整体景观都趋于平均;景观形状指数降低, 表明东乡县的整体景观趋于简单;散布与并列指数降低, 说明区域内景观之间的关系变得简单, 连通性降低;香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)都有增加, 说明东乡县景观异质程度增加, 景观有向多样化、均匀化方向发展的趋势。蔓延度指数(CONTAG)增加, 优势斑块连接度增加, 景观的破碎化程度降低。从这些景观指标可以得知东乡县通过 10 a 的改造和发展, 景观格局的抗干扰性和生态系统稳定性增加^[28]。但建设用地的增加速度过快, 需要合理地控制和规划。

表 6 东乡县整体景观各指数
Table 6 Landscape pattern indexes in landscape level of Dongxiang County

时间	TA	NP	LPI	LSI	CONTAG	III	SHDI	SHEI
2005 年	1 273.10	6 028	19.598 6	68.904 2	59.147 7	69.572 5	1.123 4	0.698 0
2015 年	1 273.10	3 650	12.644 2	61.369 1	59.317 0	63.439 3	1.136 9	0.706 4
2025 年(预测)	1 273.10	5 003	16.697 4	62.389 4	57.717 7	64.071 2	1.184 9	0.736 2

2.3 未来 10 a 土地利用景观格局变化特征

经过 CA-Markov 模型的模拟得到 2025 年东乡县土地利用预测图(图 1C)。相较 2015 年, 2025 年的土地利用中变化最大的是建设用地, 增加 51.56%(表 3);同时水域和林地都有减少, 变化率为 16.06% 和 10.39%;耕地面积变化不大, 只有 0.47% 的变化率;未利用地有所减少, 变化率为 16.32%。这反映了随着东乡县经济的发展, 人口的增加, 城市化进程的加快, 建设用地不断地增加, 同时由于地方政府的耕地保护和管理政策, 耕地面积持续增加。

从斑块类型水平来看(表 5), 建设用地的面积扩大到 205.75 km², 但斑块数却减少, 最大斑块指数增加, 景观形状指数增加, 散布与并列指数降低, 说明建设用地之间的临近性降低, 与区域内其他景观之间的关系变得简单, 连通性降低。

从整体景观水平来看(表 6), 相较 2015 年, 2025 年东乡县斑块个数增加到 5 003, 最大斑块指数增加到 16.697 4, 景观形状指数增加到 62.389 4, 蔓延度指数降低到 57.717 7, 散布与并列指数增加到 64.071 2, 香农多样性指数和香农均匀度指数分别增加到 1.184 9 和 0.736 2。这些都表明在人类活动干扰下景观斑块形状复杂程度略有上升, 趋于复杂。东

乡县景观格局指数变化反映了人类活动对东乡县景观格局影响进一步加剧, 从而导致斑块数增加, 景观异质程度增加, 景观有向多样化、均匀化方向发展的趋势。

东乡县通过对耕地的保护和管理, 使得耕地面积逐年增加, 这种趋势使得东乡县景观格局趋于稳定和均匀。建设用地的增加需要更加合理地控制和规划。

3 结论

1) 2005 年东乡县景观格局以耕地和林地为主, 随着经济的发展和城镇化建设的需要以及当地政府的政策, 到 2015 年东乡县建设用地不断增加, 耕地资源得到保护, 其面积有所增加;水域、林地和未利用地相应地减少, 减少幅度为未利用地>水域>林地。从景观格局来看, 整体景观趋于集中, 景观形状趋于简单。从景观之间的关系可以看出, 相互之间的连通性降低, 景观之间的关系变得简单。由于两个多样性指标: 香农多样性指数和香农均匀度指数均有所增加, 所以从景观多样性的角度看, 东乡县的各景观斑块在整体中分布均匀, 景观多样性增加。

2) 通过 CA-Markov 模型的模拟, 得到东乡县 2025 年土地利用景观格局图, 预测结果显示随着建

设用地的不断增加,水域和林地仍在不断减少,耕地和未利用地变化得到保护,有所增加。景观斑块形状复杂程度略有上升,趋于复杂。斑块数增加,景观异质程度增加,景观有向多样化、均匀化方向发展的趋势。

参考文献:

- [1] Turner B L, Clark W C, Kates R W, et al. The earth as transformed by human action: Global and regional changes in the biosphere over the past 300 years[J]. Cambridge University Press with Clark University, 1993: 409–421
- [2] Forman R T T, Godron M. Patches and structural components for a landscape ecology[J]. Bioscience, 1981, 31(10): 733–740
- [3] Tang J, Wang L, Yao Z. Spatio-temporal urban landscape change analysis using the Markov chain model and a modified genetic algorithm[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(15): 3255–3271
- [4] 钟林生, 肖笃宁, 陈文波. 乌苏里江国家森林公园规划方案的景观指数辅助评价[J]. 应用生态学报, 2002, 13(1): 31–34
- [5] Guan D J, Li H F, Inohae T, et al. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model[J]. Ecological Modelling, 2011, 222: 3761–3772
- [6] Weng Q H. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling[J]. Journal of Environmental Management, 2002, 64: 273–284
- [7] Ye B Y, Bai Z K. Simulating land use/cover changes of Nenjiang County based on CA-Markov model[J]. Computer and Computing Technologies in Agriculture, 2007, 258: 319–327
- [8] Halmy M W A, Gessler P E, Hicke J A, et al. Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA[J]. Applied Geography, 2015, 63: 101–112
- [9] Moghadam H S, Helbich M. Spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai, India: A Markov chains-cellular automata urban growth model[J]. Applied Geography, 2013, 40: 140–149
- [10] 张忠后, 于东升, 潘剑君, 等. 红壤典型区不同类型土壤有机碳组分构成及空间分异研究[J]. 土壤, 2015: 47(2): 318–323
- [11] 黄颖. 基于遥感与景观指数的土地利用/覆盖变化及格局分析——以长沙地区为例[D]. 长沙: 中南大学, 2007
- [12] Riitters K H, O'Neill R V, Hunsaker C T, et al. A factor analysis of landscape pattern and structure metric[J]. Landscape Ecology, 1995, 10(1): 23–39
- [13] 郭建国. 景观生态学——概念与理论[J]. 生态学杂志, 2000, 19(1): 42–52
- [14] 何鹏, 张会儒. 常用景观指数的因子分析和筛选方法研究[J]. 林业科学研究, 2009, 22(4): 470–474
- [15] 黄玉宝. 基于景观指数的小流域形态下区划方法研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012
- [16] 邱霞霞, 李德成, 赵玉国, 等. 基于不同土壤分类系统的土壤景观格局分析——以我国西北黑河流域中游地区为例[J]. 土壤, 2016, 48(5): 1022–1031
- [17] 张学雷, 屈永慧, 任圆圆, 等. 土壤、土地利用多样性及其与相关景观指数的关联分析[J]. 生态环境学报, 2014, 23 (6): 923–931
- [18] 吴未, 许丽萍, 张敏, 等. 不同斑块类型的景观指数粒度效应响应——以无锡市为例[J]. 生态学报, 2016, 36(9): 2740–2749
- [19] 张乐, 王观湧, 霍习良, 等. 基于适宜粒度的曹妃甸新区土地利用景观格局分析[J]. 土壤, 2014, 46(6): 1149–1156
- [20] Anderson T W, Goodman L A. Statistical inference about Markov chains[J]. Annals of Mathematical Statistics, 1957, 28(1): 89–110
- [21] 吴次芳. 土地利用学[M]. 北京: 科学出版社, 2009
- [22] Batty M. Cellular automata and urban form: A primer[J]. Journal of the American Planning Association, 1997, 63(2): 266–274
- [23] 胡雪丽, 徐凌, 张树深. 基于 CA-Markov 模型和多目标优化的大连市土地利用格局[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1652–1660
- [24] 廖娟. 抚州市耕地集约利用潜力研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2014
- [25] 吴菊, 郑林, 陈建军. 鄱阳湖区土地利用演化与对农业经济的影响[J]. 经济地理, 2008, 28(2): 300–303
- [26] 肖静. 城乡建设用地增减挂钩项目实施后效益评价研究——以东乡县为例[D]. 南昌: 东华理工大学, 2014
- [27] 周秋文, 苏维词, 陈书卿. 基于景观指数和马尔科夫模型的铜梁县土地利用分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(7): 770–775
- [28] 刘巧芹, 秦岭, 吴克宁, 等. 大城市郊区农村土地利用格局及整治方向分析——以北京大兴区为例[J]. 土壤, 2014, 46(2): 379–385

Prediction of Land Use Landscape Pattern Based on CA-Markov Model

PAN Yue^{1,2}, YU Dongsheng^{1,2*}, WANG Xiuhong^{1,2}, XU Zhichao^{1,2}, WANG Xiyang^{1,2}

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*; 2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Analysis and prediction of land use pattern is significant not only to balanced economic development and ecological protection, but also to ecological sustainable use and management of land protection. The study obtained the land-use map on the bases of remote sensing images in 2005 and 2015 of Dongxiang County, Jiangxi Province of East China and used the map to acquire conversion data and landscape indexes of land use types by ArcGIS 9.3 and Fragstats 4.2. Based on the conversion data and landscape indexes of land use types, the landscape pattern of Dongxiang County from 2005 to 2015 was analyzed. CA-Markov model was used to simulate the dynamics of land use change with time and state, and to predict land use pattern in the next 10 years. The results indicated: Construction land and arable land increased by 71.82 km² and 10.76 km² respectively for the past 10 years, but water area, forest land and unused land decreased with an order of unused land > water area > forest land. Compared to the 2005, landscape patches distributed more evenly, landscape diversity increased, landscape shape tended to be simple and landscape patch connectivity became lower in 2015, which indicated the associations between landscape patches weakened in 2015. Human economic activity and land use policies had more obvious effects on landscape pattern. According to the forecast by CA-Markov model, it is predicted that by 2025 construction land will be increased by 68.72 km², water area, forest land and unused land will continue decreasing, but the arable land will increase. The number of landscape patches and the landscape heterogeneity will increase, the patch shape will become a little more complex. Landscape pattern will become more diversified and homogenized. In conclusion, landscape pattern of Dongxiang is gradually become more stable, homogeneous and diverse, but great efforts and reasonable plans are needed to protect arable land, to control the use of construction land, and to maintain the balance of the ecological environment.

Key words: Landscape pattern; Landscape indices; CA-Markov model; Land use; Hilly red soil region