

南岭国家级自然保护区森林景观格局变化与动态模拟

廖芳均^{1,2}, 赵东升³

(1. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275; 2. 广东南岭国家级自然保护区管理局, 广东 韶关 512727;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 基于 eCognition、ArcGIS 和 IDRISI 软件, 采用景观格局指数分析广东南岭国家级自然保护区 1988~2009 年景观类型数量及空间格局的变化; 运用 CA-Markov 模型模拟流域 2010 年的景观格局, 预测 2021 年的景观格局。结果表明, 研究区森林景观类型以常绿阔叶林和针叶林为主; 景观破碎度增加, 斑块复杂程度提高, 各景观类型的分布更加趋于复杂化; CA-Markov 模型预测表明, 2010~2021 年景观破碎度有所降低, 多样性增加。

关键词: 景观格局; CA-Markov; 南岭; 自然保护区

中图分类号: X144 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2014)09-1099-09

景观格局是指大小和形状各异的景观要素的空间分布与组合特征^[1], 景观动态是指景观结构、功能、空间格局随时间的变化而发生相应变化的过程^[2-4], 景观格局与动态分析是景观生态学研究的核心之一^[5]。研究景观格局的动态变化有助于人们从无序的景观中发现潜在的有序规律, 揭示景观格局与过程相互作用的机理, 进而对景观变化的方向、过程、效应进行模拟、预测和调控^[6,7]。森林景观格局的变化会对森林生态系统内的物质循环和能量流动产生影响, 制约多种生态过程, 进而影响森林的演替, 如斑块的大小和形状会影响种群的生存能力和抗干扰能力^[8-10]。20 世纪 90 年代初以来, 国内外已有一些学者对流域景观^[11,12]、湿地景观^[13,14]、城乡景观^[15,16]、山地景观^[17-19]等的景观格局及其动态的研究, 对景观生态学的理论与应用研究的发展起到了积极的推动作用。

目前, 用于景观格局预测研究的方法有人工神经网络^[20,21]、马尔柯夫(Markov)^[22,23]、元胞自动机(CA)^[24,25]、CA-Markov 等模型^[26,27]。其中, CA-Markov 模型首先利用 Markov 模型进行土地利用变化预测, 再利用 CA 模型对预测结果进行空间处理, 既保留了 Markov 模型长期预测的优势, 又综合了

CA 模拟复杂时空系统变化的能力, 可较好地从时间和空间上模拟景观格局的变化情况^[28], 运用较为广泛。

自然保护区是对有代表性的自然生态系统、珍稀濒危野生动植物物种的天然集中分布区, 依法划出一定面积予以特殊保护和管理的区域^[29]。随着日益频繁的人为活动, 自然保护区也受到一定的影响, 因此, 有必要加强对此类景观格局及动态的研究, 鉴于此, 本文以广东南岭国家级自然保护区作为对象, 借助 GIS 技术分析研究区内 1988~2009 年的景观格局动态变化情况, 在 IDRISI 软件支持下, 运用 CA-Markov 模型预测 2021 年的景观格局, 以期对南岭自然保护区的生态与环境保护以及区域可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

广东南岭国家级自然保护区地处广东省北部(图 1), 南岭山脉中段南麓。地理坐标为东经 112°30'~113°04'E, 北纬 24°37'~24°57'N。南岭为珠江下游北江支流的发源地, 属中低山山地地貌, 主峰石坑崆为广东省第一高峰, 海拔 1 902.3 m; 最低点为龙溪口, 海拔 202.1 m; 相对高差 1 770 m。在气

收稿日期: 2013-07-27; 修订日期: 2013-12-20

基金项目: 南岭国家级自然保护区数字化监测与管护平台项目(GDHS13SGHG05025)资助。

作者简介: 廖芳均(1975-), 女, 湖南常德人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事综合自然地理研究。E-mail: bliethe_fang@163.com

候上属中亚热带季风气候区。南岭自然保护区多年平均气温 17.7°C ,极端最低气温 -4.2°C ,极端最高气温 34.4°C ,保护区地带性土壤为红壤,从山麓至山顶,垂直依次分布着:红壤、山地黄红壤、山地黄壤、山地灌丛草甸土。

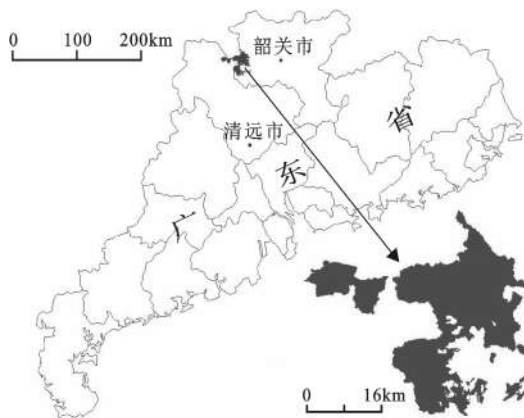


图1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

南岭自然保护区所处的南岭山地是中国亚热带常绿阔叶林的中心地带,植被的垂直分布明显,垂直带谱完整,基本上与湿润亚热带山地植被垂直带谱结构一致。其结构为:沟谷常绿季雨林或丘陵、低山常绿阔叶林→中山常绿阔叶林或中山常绿落叶阔叶混交林→中山常绿针阔叶混交林或中山常绿针叶林→山顶(常绿阔叶)苔藓矮曲林→山顶灌丛草坡,其中以广东松、长苞铁杉和福建柏为优势建群种的中山山地常绿阔叶林或以这些针叶树种与其它阔叶树种组成的常绿针阔叶混交林,是保护区最具特色的群落类型。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

定量化景观格局分析建立在基础地理信息数据库之上^[30,31]。本研究数据主要有1:10 000地形图、森林资源二类调查数据、1988、1999和2009年Landsat5的3期遥感影像。

运用ENVI 4.5软件对3期TM影像进行纠正、增强以及裁剪处理。根据森林资源二类调查数据,结合研究区遥感影像特点,并参照全国土地利用分类系统标准进行分类,获取针叶林、针阔混交林、常绿阔叶林、阔叶混交林、灌木林、其它林地、耕地、其

它土地、建设用地和水域10类景观类型,然后在eCognition面向对象软件下进行人工目视解译。

2.2 研究方法

1) 景观格局指数是景观生态学广泛使用的定量研究方法,高度浓缩景观格局和景观动态信息,能够很好地了解景观格局的组成成分、空间配置和动态变化过程^[32]。本研究在进行景观格局分析时,选取生态学意义明确且公式计算简单的指数,从不同角度对森林景观进行定量分析。这些指标的公式和计算方法都采用FRAGSTATS景观格局计算分析软件的表达方式^[33]。

2) CA-Markov模型。元胞自动机(CA)模型具有强大的空间运算能力,使得其能够对系统的空间变化进行有效的模拟,不过该模型着眼于元胞的局部相互作用。Markov模型多用于预测无后效性特征的地理时间,在景观生态学中通常被用于模拟植被的动态以及土地利用覆被的格局变化^[34],传统的Markov模型有一定局限性,其难以对景观的空间格局变化进行预测。因此,综合CA模型在模拟复杂系统空间变化方面的能力与Markov模型长期预测的优势,产生CA-Markov模型,既可以提高景观类型转换的预测精度,又能对景观格局的空间变化进行有效模拟,具有很强的科学性与使用性。

3) 修正Lee-Sallee检验。Lee-Sallee是一个形状指数,它可以被用来量测模拟地理边界与实际地理边界的空间重合程度。修正的Lee-Sallee形状指数,也就是指计算得出的景观格局预测结果与用于校验数据的空间交集占两者并集的面积比,能够反映2个空间数据的空间分布的相似性,一般来说,其值达到0.3~0.7就可以认为该模型具有较高的模拟精度。

3 结果分析

3.1 总体格局变化分析

图2、表1中看出,研究时期内广东南岭国家级自然保护区主要以森林景观类型为主,面积占90%以上,其中常绿阔叶林面积最大,占总面积的55%左右;其次为针叶林;最小为水域。1988~2009年间,各景观类型面积均发生变化,其中针叶林面积一直下降,从1988年的25.26%下降到2009年的23.76%,其它土地和建设用地则一直增长,其它林地从1988年的0.14%增长到2009年的0.17%,建设用地从1988年的0.16%增长到2009年的

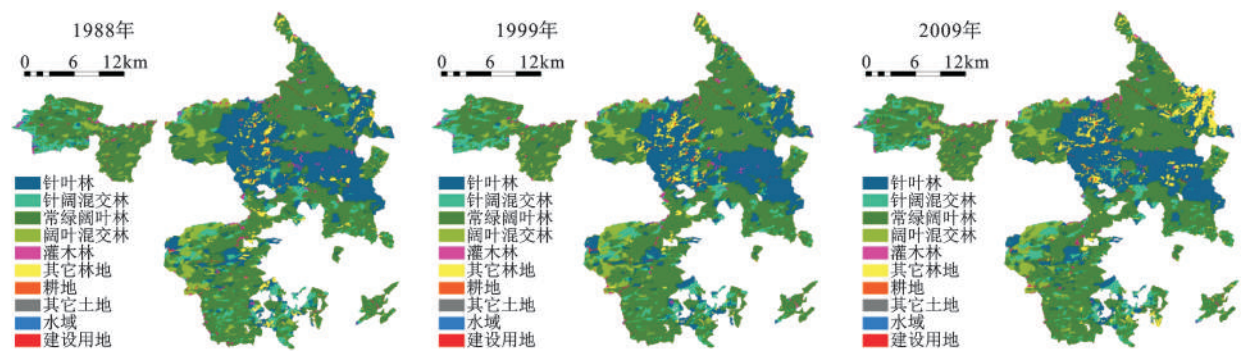


图2 研究区景观分类结果

Fig. 2 Landscape classification of study area in 1998、1999 and 2009

表1 研究区不同类型景观面积统计表

Table 1 Area of different landscapes in study area

景观类型	1988年		1999年		2009年	
	面积(hm ²)	百分比(%)	面积(hm ²)	百分比(%)	面积(hm ²)	百分比(%)
针叶林	14741.70	25.26	14315.67	24.53	13868.51	23.76
针阔混交林	5805.73	9.95	5878.52	10.07	5613.23	9.62
常绿阔叶林	32091.76	54.98	32691.15	56.01	32297.34	55.33
阔叶混交林	3166.95	5.43	3191.00	5.47	3054.77	5.23
灌木林	780.91	1.34	645.90	1.11	666.28	1.14
其它林地	1504.56	2.58	1306.87	2.24	2485.03	4.26
耕地	94.32	0.16	117.50	0.20	104.48	0.18
其它土地	80.55	0.14	90.12	0.15	100.92	0.17
建设用地	96.13	0.16	128.29	0.22	157.59	0.27
水域	5.78	0.01	3.44	0.01	20.25	0.03

0.27%,其它景观类型则呈现波动趋势。

从类型的角度来看,针叶林为研究区的优势景观,分布集中,优势度较为明显,研究期间面积在持续减少,但空间格局变化不大;针阔混交林是针叶林向阔叶林景观过渡的景观类型,其占据一定比例,面积变化较为稳定,零星分布于整个研究区;常绿阔叶林在整个研究区占绝对优势,为主要景观类型,在整个研究期间变化不大,连通性很好;阔叶混交林景观为变化不大,较为集中的分布于研究区西部和中西部;灌丛零星分布于研究区的各个片区,所占面积比例较小,为破碎化景观类型;其它林地变化明显,面积一直处于增长趋势,尤其在研究区东部表现最为明显;耕地零散分布于太平洞周边,变化不明显。

表2和表3看出南岭保护区各景观类型均处于动态变迁过程,呈现一定的规律性,常绿阔叶林基本比较稳定,1988~1999年都有90%以上面积未发生变化;针叶林未变化面积1988~1999年为85.20%,1999~2009年为83.75%;作为过渡类型的针阔混交林和阔叶混交林面积保持也相对较为稳定,基本维持在60%~70%之间;在研究区域较为分散的灌木林面积转化较大,从1988~1999年的63.39%到1999~2009年的52.11%;耕地则基本在针叶林、常绿阔叶林和其它林地之间相互转化。

3.2 斑块面积特征分析

选取平均斑块面积、斑块数、最大斑块和平均斑块面积4项指数,分别对研究区1988~2009年的10类景观类型进行测算(图3),结果发现:① 各景观类型除耕地基本维持不变以外,其它类型斑块数目均为先减少,再增加趋势;② 最大斑块指数除常绿阔叶林和其它林地外,其它类型都表现为减少趋势。其中针叶林和常绿阔叶林的最大斑块

表2 1988~1999年研究区景观类型转移矩阵(hm²)Table 2 Transition matrix of study area in 1988-1999 (unit: hm²)

	针叶林	针阔混交林	常绿阔叶林	阔叶混交林	灌木林	其它林地	耕地	其它土地	水域	建设用地
针叶林	12560.00	373.54	873.60	31.00	97.03	640.14	19.49	24.26	0.71	10.06
针阔混交林	479.55	3835.79	1345.20	158.31	83.00	103.89	0.90	0.81	0.00	2.37
常绿阔叶林	1121.20	1449.62	29510.00	716.98	291.01	285.98	0.00	20.49	1.75	26.64
阔叶混交林	90.50	155.63	682.27	2283.34	36.54	12.49	0.00	0.00	0.63	0.72
灌木林	78.61	63.30	197.04	35.39	270.24	9.43	0.00	5.11	0.74	0.00
其它林地	635.31	48.59	147.91	10.78	11.66	450.16	24.08	1.80	1.44	4.22
耕地	39.54	3.68	0.00	0.00	0.45	20.76	51.98	0.00	0.00	3.68
其它土地	23.78	0.92	26.91	0.83	7.27	2.16	0.00	29.41	0.36	0.48
水域	0.72	0.20	1.79	0.00	0.54	0.07	0.00	0.00	0.19	0.00
建设用地	36.03	4.13	25.85	0.90	0.54	13.08	0.00	0.45	0.09	50.09

表3 1999~2009年研究区景观类型转移矩阵(hm²)Table 3 The transition matrix of study area in 1999-2009 (unit: hm²)

	针叶林	针阔混交林	常绿阔叶林	阔叶混交林	灌木林	其它林地	耕地	其它土地	水域	建设用地
针叶林	11990.00	461.49	1068.32	115.31	72.11	419.37	25.61	7.66	0.36	21.39
针阔混交林	371.93	3805.26	1294.34	170.54	52.93	36.42	1.08	1.17	0.00	4.67
常绿阔叶林	885.78	1414.10	29620.00	740.28	170.16	142.36	0.18	25.47	0.77	15.82
阔叶混交林	97.91	114.06	710.96	2164.88	27.51	6.92	0.00	0.45	0.00	0.18
灌木林	48.95	54.79	195.08	45.77	309.29	16.16	0.00	7.04	0.00	4.02
其它林地	1185.53	146.49	462.02	21.75	17.66	672.13	17.52	5.93	0.18	11.03
耕地	8.62	0.00	3.05	0.00	0.00	20.22	74.00	0.00	0.00	0.90
其它土地	15.88	3.27	20.62	0.72	5.91	14.38	0.00	40.89	0.36	1.17
水域	3.24	0.27	8.29	0.27	1.50	3.23	0.00	2.07	1.84	0.0
建设用地	31.36	9.98	34.10	2.61	3.15	4.76	1.71	1.44	0.00	72.00

指数较大,其它景观类型的最大斑块指数相对比较稳定,说明变化并不大;③ 除水域外,其它景观类型的平均斑块面积均为前期上升,后期下降的趋势,其中,常绿阔叶林的面积在研究区内的景观类型中最大、针叶林次之,在下降趋势中针叶林面积下降最为明显;④ 各景观类型的景观形状指数最终都趋于增大,其中针阔混交林表征最为明显,其景观形状指数在研究区一直最大,针阔混交林、其它林地以及建设用地增长幅度较大,常绿阔叶林、灌丛增长幅度较小,说明常绿阔叶林和灌丛总体上有趋于更加规则的趋势。

3.3 景观异质性分析

选取斑块密度和周长-面积分维数指数对研究区 1988~2009 年的 10 类景观类型进行测算(图 4),① 景观类型中斑块密度以常绿阔叶林、针叶

林以及针阔混交林较高,水域、建设用地和耕地较低;变化最大的为针阔混交林,表明其景观生态过程最为活跃,这与研究区人工造林增加了针阔混交林的面积有关;建设用地、灌木和针阔混交林的斑块密度表现为增大,其中针阔混交林增加最大,表明其景观生态过程活跃;其它均表现为下降再上升趋势,这也主要是由于前期一直进行的生态公益林保护工作,以及后期的人工造林面积增大的原因;② 景观类型水平上建设用地的周长-面积分维数持续下降,表明建设用地的斑块形状区域规则;灌木和水域的周长-面积分维数持续增大,表明其斑块形状不规则化,活动强烈;其它林地和其它土地表现为先上升,后下降,表明它们的斑块形状变化从不规则到规则;而针叶林、常绿阔叶林、针阔混交林、阔叶混交林以及耕地则表现为

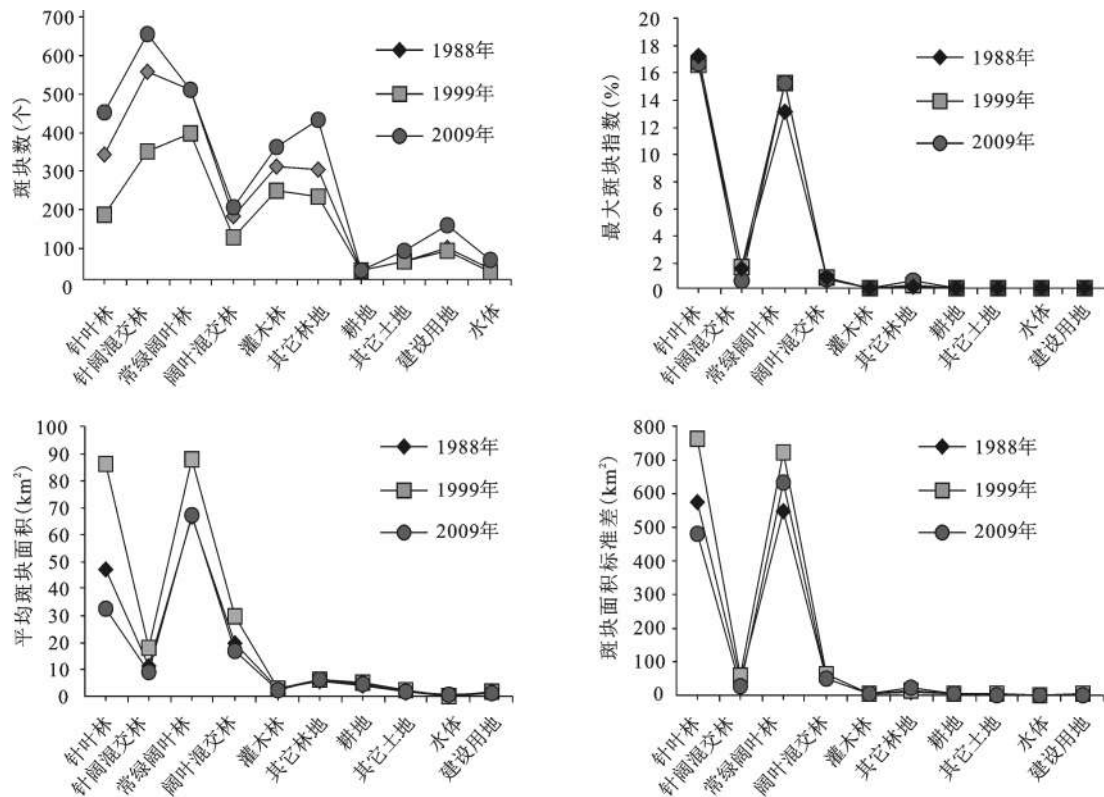


图3 各景观类型斑块基本特征指数

Fig. 3 Basic characteristics index of each landscape patch

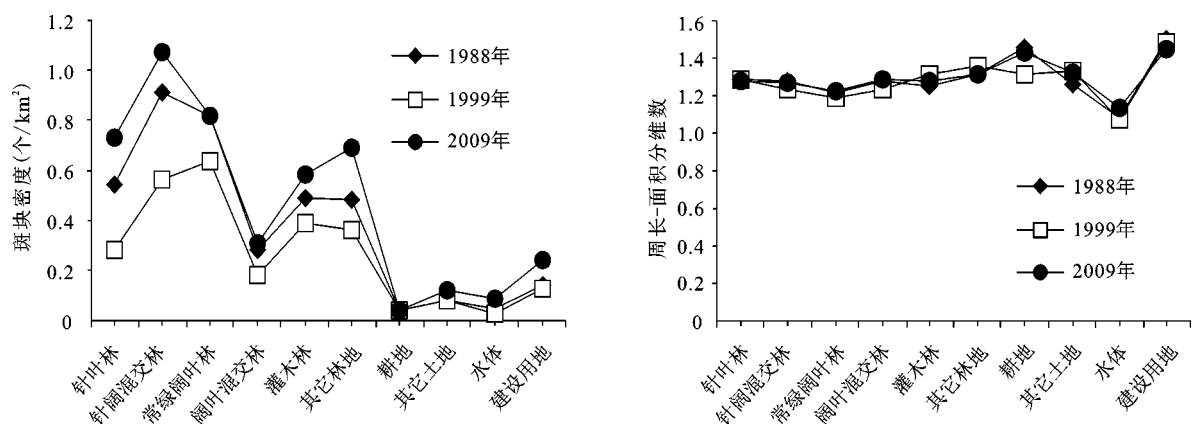


图4 各景观类型异质性指数

Fig. 4 Heterogeneity index of each landscape patch

先下降后上升,表明森林景观形状从规则变得越来
越不规则,斑块活动强烈,破碎化趋势较为明显。

3.4 景观多样性分析

选取香农多样性指数和 Simpson 多样性指数,香农多样性指数对景观中的非优势类型的变化敏感,而 Simpson 多样性指数对优势类型的变化敏感。研究区内景观水平的香农多样性指数在研究

时段内分别为 1.25, 1.23, 1.28, Simpson 多样性指数分别为 0.62, 0.61, 0.62;表明南岭国家级自然保护区在研究时期内,景观类型在多样性方面保持良好,人为干扰没有造成景观构成的要素很大影响,只是组成要素之间的再分配,在景观多样性的动态变化上维持较高水平。景观类型多样性维持基本稳定水平,破碎化程度较小,能够有效的维持

生态系统的稳定性,保护生物多样性免受降低。

3.5 景观格局预测

以1988~1999年的景观格局类型图为基础生成转移矩阵进行预测(表4),确定模型循环次数为11,运行模型,得到2010年景观类型模拟图。基于ArcGIS的空间叠加分析功能,将模拟预测的研究区2010年景观格局分布图与2009年实际的景观格局分布图进行空间叠加操作,计算获得修正Lee-Sallee形状指数的值为0.63,可以判定模拟结果具有较高的精度。据此,可以使用上述方法预测未来研究区景观格局的空间分布情况。

利用1999~2010年的景观类型图,模拟2021年研究区景观格局的空间分布,在CA-Markov模块中,模拟的起始年份设置为2010年,利用状态转移图集、1999~2010年的转移概率矩阵,采用5×5的滤波器,循环次数设置为11,进行模拟预测得到2021年研究区景观类型格局分布图,预测结果如图5所示。

通过ArcGIS软件获取了2010~2021年的转移概率矩阵,同时通过Fragstats软件计算可以反映2021年景观格局特征的重要景观格局指数,分析所预测的2021年景观空间格局的变化,即相对于2009年研究区各个景观类型将要发生的空间分布、景观类型斑块特征以及景观类型特征的变化(图6)。

2021年各个景观类型所占的面积比例较2009年变化较小,基本维持2009年各个景观类型所占比例的情况,各个景观类型的斑块数量较2009年变化较大,主要森林景观类型针叶林、常绿阔叶

林、针阔混交林和其它林地斑块数量明显减少,表明研究区森林景观类型系统趋于完整,受干扰程度明显减少,其它土地、水体和建设用地景观斑块类型数量增加,这表明这几种景观类型分割较为严重,破碎化程度增大,阔叶混交林、灌木林和耕地景观斑块类型指数变化较小。

从斑块密度上看2021年研究区除了常绿阔叶林变化较大,其它各景观类型的斑块密度都较2009年稳定发展,变化幅度较小。呈降低趋势的除了常绿阔叶林之外还有针叶林、针阔混交林和其它林地,建设用地、水体和其它土地景观类型斑块密度指数稍有增大,而阔叶混交林保持不变,综合2021年研究区景观类型空间分布预测图,说明研究区森林景观类型表现为更加集中的分布,非森林景观(建设用地、水域、其它土地)受人类干扰程度增加,斑块破碎化程度较2009年更为严重。

针叶林、针阔混交林、常绿阔叶林和阔叶混交林聚集程度较2009年稍有减小,但还继续维持在90%~99%的高程度,说明,这几个景观类型基本聚集成紧实的整体,其它景观类型明显呈离散发展,变化最为明显的是建设用地。

4 结论与讨论

研究期间,南岭国家级自然保护区主体景观以森林为主,其中常绿阔叶林面积最大,优势景观为针叶林,各主体景观斑块的变化明显呈波动趋势,表现为斑块数和斑块密度减小再增加,斑块平均面积增加再减小,斑块形状更加不规则;形状指数在研究时段持续增大,说明南岭国家级自然保

表4 1988~1999年景观类型转移概率矩阵($n=11$)

Table 4 Transition matrix of Nanling National Nature Reserve in 1988-1999 ($n=11$)

	针叶林	针阔混交林	常绿阔叶林	阔叶混交林	灌木林	其它林地	耕地	其它土地	水域	建设用地
针叶林	0.7504	0.0478	0.1117	0.0090	0.0079	0.0633	0.0039	0.0023	0.0001	0.0036
针阔混交林	0.0746	0.5816	0.2886	0.0311	0.0126	0.0097	0.0007	0.0002	0.0000	0.0008
常绿阔叶林	0.0505	0.0776	0.8095	0.0394	0.0113	0.0085	0.0000	0.0016	0.0001	0.0015
阔叶混交林	0.0119	0.0606	0.2744	0.6394	0.0135	0.0041	0.0000	0.0003	0.0000	0.0003
灌木林	0.0128	0.1103	0.3832	0.0484	0.3028	0.0156	0.0006	0.0096	0.0007	0.0007
其它林地	0.4338	0.0702	0.1936	0.0085	0.0066	0.2629	0.0141	0.0015	0.0000	0.0088
耕地	0.2250	0.0104	0.0000	0.0000	0.0000	0.2779	0.4867	0.0000	0.0000	0.0000
其它土地	0.3078	0.0104	0.2629	0.0000	0.0669	0.0231	0.0000	0.3233	0.0000	0.0058
水域	0.1064	0.0000	0.3040	0.1064	0.1368	0.2432	0.0000	0.0608	0.0273	0.0152
建设用地	0.1122	0.0273	0.3002	0.0081	0.0000	0.0475	0.0414	0.0051	0.0000	0.4582

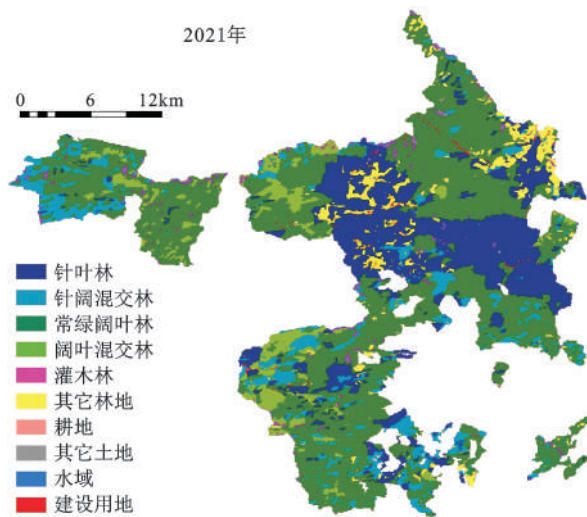


图5 研究区2021年景观格局模拟

Fig.5 Landscape pattern simulated diagram of study area in 2021

保护区景观斑块的镶嵌具有较强的不规则趋势,斑块形状趋于复杂。集中分布于实验区针叶林面积持续减少,斑块数量却在增加,而其它林地和建设用地的面积和斑块数均增加。表明南岭国家级自

然保护区景观受人为干扰程度增加,在空间上更加趋于破碎化。

南岭国家级自然保护区各景观指数随时间的变化呈波动趋势,形状指数在研究时段持续增大,说明南岭国家级自然保护区景观斑块的镶嵌具有较强的不规则趋势,斑块形状趋于复杂。

景观多样性更加丰富,景观多样性的变化主要表现在实验区,这也反应了人为干扰程度所造成的景观异质性差异。

通过分析研究区各个景观类型时空变化情况,发现针叶林和其它林地转化面积比例最大,常绿阔叶林和阔叶混交林转化频繁,针阔混交林和针叶林之间也相互转化频繁,灌木林与其它景观类型之间转化频繁,而建设用地则主要由常绿阔叶林和针叶林转化而来,水域作为研究区域的一种景观类型,虽然规模很小,但主要由针叶林转化而来。研究1988~1999年的景观格局变化预测2010年景观格局情况,对比发现1988~2009年针叶林面积呈减小趋势,预测的2021年景观格局中,针叶林面积比例也减小;地表水域和建设用地的

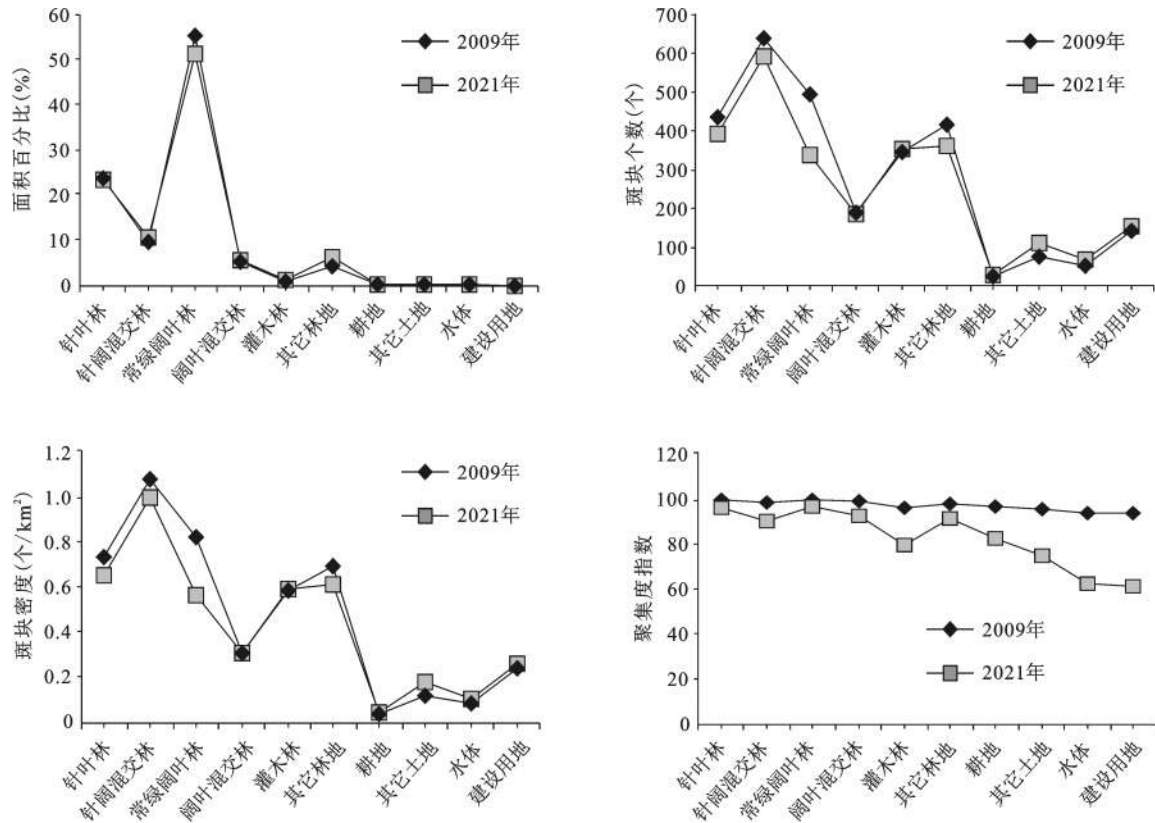


图6 南岭国家级自然保护区2009和2021年各景观指数对比

Fig.6 Each landscape index comparison of Nanling National Nature Reserve with 2009 and 2021

面积在 1999~2009 年间增长迅速,预测的 2021 年景观格局中,这 2 种景观类型面积也增长迅速;常绿阔叶林面积持续减少,阔叶林面积大幅缩减,而针阔混交林的面积大幅上升,其它林地面积也逐渐连通,形成了较大的斑块,斑块数量减少,多样性指数增大。根据这种变化趋势,所预测的结果也延续了这种惯性。

综上所述,本文在对 1988~2009 年的景观动态变化进行分析的基础上,利用 1999~2010 年景观格局的变化预测 2021 年景观格局的发展变化情况,也同样会受到 1999~2010 年景观格局变化的惯力所影响,也可能因为后期自然、人为因素的影响而导致预测的误差,但基本可以保证预测的景观格局的空间分布的宏观格局是合理的,能够为南岭国家级自然保护区的发展规划提供参考依据。

致 谢:中国科学院地理科学与资源研究所郑度研究员,中山大学董玉祥教授对写作给予帮助,在此一并感谢。

参考文献:

- [1] 郭建国.景观生态学:格局,过程,尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [2] 摆万奇,张镜铨,包维楷.大渡河上游地区景观格局与动态[J].自然资源学报,2003,18(1):76~80.
- [3] 刘文俊,马友鑫,胡华斌,等.西双版纳勐仑地区景观格局变化定量分析[J].生态学报,2006,26(9):3088~3097.
- [4] He X Y,Zhao Y H,Hu Y M,et al.Landscape Changes from 1974 to 1995 in the Upper Minjiang River Basin, China[J]. Pedosphere,2006,16(3):398~405.
- [5] 陈利顶,刘 洋,吕一河.景观生态学中的格局分析:现状,困境与未来[J].生态学报,2008,28(11):5521~5531.
- [6] Brogaard S,Zhao X Y.Rural reforms and changes in land management and attitudes: A case study from Inner Mongolia, China[J]. A Journal of the Human Environment,2002,31(3):219~225.
- [7] Lambin E F.Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions[J].Progress in Physical Geography, 1997,21(3):375~393.
- [8] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等.景观生态学原理及应用[M].北京:科学出版社,2001.
- [9] Fahrig L,Merriam G.Habitat patch connectivity and population survival[J].Ecology,1985,66(6):1762~1768.
- [10] Kratz T K,Benson B J,Blood E R,et al.The influence of landscape position on temporal variability in four North American ecosystems[J].The American Naturalist,1991,138(2):355~378.
- [11] 古丽克孜·吐拉克,李新国,刘 彬,等.开都河流域下游绿洲景观格局变化分析[J].干旱区资源与环境,2014,28(3):174~180.
- [12] 伍 星,沈珍瑶.长江上游地区土地利用/覆被和景观格局变化分析[J].农业工程学报,2007,23(10):86~93.
- [13] 白军红,欧阳华,崔保山,等.近 40 年来若尔盖高原高寒湿地景观格局变化[J].生态学报,2008,28(5):2245~2252.
- [14] 王永丽,于君宝,董洪芳,等.黄河三角洲滨海湿地的景观格局空间演变分析[J].地理科学,2012,32(6):717~724.
- [15] 彭保发,陈端吕,李文军,等.土地利用景观格局的稳定性研究——以常德市为例[J].地理科学,2013,33(12):1484~1488.
- [16] Xin Y,Xin Q Z,Rui C.A land use change model: Integrating landscape pattern indexes and Markov-CA[J].Ecological Modelling, 2014,283:1~7.
- [17] 李月辉,胡远满,常 禹,等.大兴安岭呼中林业局森林景观格局变化及其驱动力彭保发[J].生态学报,2006,26(10):3347~3357.
- [18] 张秋玲,马金辉,赵传燕.兴隆山地区景观格局变化及驱动因子[J].生态学报,2007,27(8):3206~3214.
- [19] Paula K L,Leandro R T,Robert M E et al.Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes[J].Forest Ecology and Management,2012,278:80~89.
- [20] 张利权,甄 瑜.上海市景观格局的人工神经网络(ANN)模型[J].生态学报,2005,25(5):958~964.
- [21] 杜秀敏,黄义雄,金 蓉,等.厦门市景观格局的 BP 人工神经网络模型[J].资源科学,2008,30(9):1362~1366.
- [22] 李 磊,李艳红.基于马尔科夫模型的新疆甘家湖湿地景观格局模拟与预测[J].湿地科学与管理,2013,9(3):52~55.
- [23] 王水献,董新光,寇 文.马尔柯夫过程预测焉耆盆地土地利用/覆被格局变[J].干旱区资源与环境,2007,21(10):28~33.
- [24] 杨青生,黎 夏.基于遗传算法自动获取 CA 模型的参数——以东莞市城市发展模拟为例[J].地理研究,2007,26(2):229~237.
- [25] 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.
- [26] 何 丹,金凤君,周 璟.基于 Logistic-CA-Markov 的土地利用景观格局变化[J].地理科学,2011,31(8):903~910.
- [27] 张加龙,胥 辉,岳彩荣,等.基于 CA-Markov 的香格里拉县森林景观格局变化及预测[J].东北林业大学学报,2013,41(6):46~50.
- [28] 朱会义,李秀彬.关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J].地理学报,2003,58(5):643~650.
- [29] 李 行,周云轩,况润元,等.大河口区淤涨型自然保护区功能区划研究——以崇明岛东滩鸟类国家级自然保护区为例[J].中山大学学报(自然科学版),2009,48(2):106~112.
- [30] 徐燕千.建立南岭国家级自然保护区的重大意义[J].生态学报, 1993, 13(1):14~20.
- [31] 梁艳艳,周年兴,谢慧玮,等.庐山森林景观格局变化的长期动态模拟[J].生态学报,2013,33(24):7807~7818.

- [32] 胡海胜,魏美才,唐继刚,等.庐山风景名胜区景观格局动态及其模拟[J].生态学报,2007,27(11):4696~4706.
- [33] 郑新奇,付梅臣.景观格局空间分析技术及其应用[M].北京:科学技术出版社,2010.
- [34] 范强,杨俊,吴楠,等.海岸旅游小镇景观格局演变与动态模拟[J].地理科学,2013,33(12):1467~1475.

Forestry Landscape Patterns Changes and Dynamic Simulation of Nanling National Nature Reserve, Guangdong

LIAO Fang-jun^{1,2}, ZHAO Dong-sheng³

(1.School of Geographic Science and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China;
2.Nanling National Nature Reserve Administration, Shaoguan, Guangdong 512727, China; 3. Institute of
Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Forest landscape pattern and its change is a comprehensive reflection of interaction with natural and artificial factors. In this article, landscape pattern changes of Nanling National Nature Reserve from 1988 to 2009 were analyzed with landscape pattern index based on eCognition and ArcGIS. CA-Markov model was adopted to simulate the landscape pattern in 2010 and to predict the landscape pattern in 2021. The results showed that the study area was mainly forest-based landscapes, more than 95% of the total area, in which, evergreen broad-leaved forest and coniferous forest were two dominant landscape types, other landscape types were distributed in the study area with scattered or gathered, and forming a rich landscape mosaic pattern. From 1988 to 2009, the area of coniferous forest decreased whereas areas of other land and construction land increased. Coniferous mixed forest, evergreen broad-leaved forest, broad-leaved mixed forest and farmland first expanded and then shrank, whereas shrubs, other forests and waters first shrank and then expanded. The level of landscape fragmentation and plaque complexity was increased, the proportion of landscape type has a larger change; landscape diversity was increased after reduced, the dominance, evenness changed little, remaining stable, the fractal dimension of landscape patches was different at different periods, and the increase tendency of human disturbance increased complex to the conversion of various types of plaque. Analysis landscape types changes of time and space, which found that the largest area ratio changes between with coniferous forest and other woodlands, evergreen broad-leaved forest and broad-leaved mixed forest transformation was frequent, also conversion frequency between mixed coniferous forest and coniferous forest, shrub and other landscape types. Construction land was mainly transformed from evergreen broad-leaved forest and coniferous forest, water, as a landscape type in the study area, mainly transformed by coniferous forest. From 2010 to 2021, with CA-Markov model, it was predicted that the area of coniferous forest and evergreen broadleaf forest would reduce, and other landscape trend would grow, of which construction land and water would grow more rapidly. Also the number of major forest landscape patches would reduce significantly, and the distribution be more concentrated, which means the degree of aggregation and connection would increase, fragmentation reduce, and landscape types distribution be towards uniformly in the future. And the level of landscape fragmentation would decline, and the level of landscape diversity would increase in the study area.

Key words: landscape pattern; CA-Markov; Nanling; nature reserve