

土地利用变化影响下洞庭湖地区 景观格局的时空演变

宁启蒙¹ 欧阳海燕² 汤放华¹ 曾志伟¹¹

(1. 湖南城市学院建筑与城市规划学院, 中国湖南益阳 413000;

2. 湖南工艺美术职业学院环境艺术设计系, 中国湖南益阳 413000)

【摘要】:探讨土地利用变化与景观格局之间的关系可以为区域生态管理提供依据。以洞庭湖地区为研究对象, 以该地区 2000、2005、2010 和 2015 年 4 个时期的遥感影像为基础, 综合运用地理信息系统(GIS)、景观格局分析方法, 定量描述该地区的土地利用和景观格局的时空演变规律, 并利用 OLS 回归分析土地利用变化与景观格局之间的关系。结果表明:①开发区和新城区建设等经济社会发展条件下土地利用发生显著变化, 以耕地和林地转化为建设用地为主要特征, 其中, 建设用地和未利用地面积持续增长, 耕地、林地、草地和水域面积明显减少。②景观水平层面下洞庭湖地区景观格局的破碎程度上升和聚集程度下降, 其中, 林地和草地的破碎化程度上升, 林地的破碎化程度上升趋势有所缓解。并在空间尺度上表现建成区范围内景观指数变化显著。③类型水平层面下, 其景观格局的集聚程度呈现上升趋势。景观格局变化与耕地、林地、未利用地和建设用地的变化具有较强的关系, 建设用地扩张增加了整个景观格局的异质性和破碎性。同时, 提出相应的对策措施, 以期对洞庭湖地区更好地协调优化空间开发与景观格局之间的关系。

【关键词】:景观格局 破碎化 洞庭湖地区 城镇化 建设用地 生态红线

【中图分类号】:F301.2 **【文献标志码】:**A **【文章编号】:**1000-8462(2020)09-0196-08

景观格局是指景观元素以不同大小和形状在空间上的排列^[1], 影响着区域的生态系统结构和功能, 是维持区域生态安全的重要因素^[2]。土地利用变化和城市化影响区域景观格局, 对景观要素的配置和组成起决定性的作用^[3]。目前, 土地利用变化日益加快, 如何降低土地利用变化对景观格局的影响, 实现洞庭湖地区的生态经济高质量发展, 成为了政府和学术界十分关注的问题^[4-5]。

土地利用类型变化逐渐成为生态学和地理学研究的前沿与重点领域^[6], 相关研究内容主要包括土地利用类型变化的过程与趋势^[7-8]、人类活动对土地利用类型变化的影响及作用机理^[9]、土地利用类型变化的景观格局效应与响应措施^[10-11]等。其中, 自然驱动力和人类活动对景观格局的塑造起着重要的作用^[1]。人类活动(人口增长、城市扩张、农业机械化等)通过影响景观格局, 改变人类与自然之间的关系, 加快生态用地向农业用地和建设用地转变, 最终导致景观格局呈现显著的破碎化特征。以往研究主要集中于区域社会、经济等方面与景观格局之间的数量关系, 然而, 尚未形成关于土地利用变化对景观格局变化的影响强度

基金项目:湖南省教育厅优秀青年项目(18B441);湖南省哲学社会科学基金项目(18YBA061);数字化城乡空间规划关键技术湖南省重点实验室(2018TP1042);湖南省城乡生态规划与修复工程技术研究中心(2017TP2006)

作者简介:宁启蒙(1981-), 男, 湖南邵阳人, 博士, 副教授。主要研究方向为城市与区域规划。E-mail:332327655@qq.com。
欧阳海燕(1983-), 女, 湖南益阳人, 高级工程师。主要研究方向为小城镇规划。E-mail:24198601@qq.com。

和方向的研究成果。同时,国内外学者针对景观格局的变化及其驱动力主要从以下几个方面进行了研究:①研究区域景观格局的时空变化特征。通过遥感影像数据的解译,利用 Fragstats 软件计算景观指数,提供诸如破碎化、多样性以及景观结构等景观指数,从而分析和监测区域的景观格局变化^[12-17]。②探讨景观格局对生态安全的影响。运用地理信息系统(GIS)和空间分析等技术,从时空分异的特征,分析区域生态安全的现状。摆脱了“风险源—受体分析—安全评价”传统的生态安全评价模式^[18-22]。③景观格局时空变化的驱动机制。利用遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、计量分析模型等方法来探讨景观格局的变化及其与驱动力的关系^[23-26]。同时,已有学者考虑经济社会的因素,研究城市化发展对景观格局的影响和城市化与景观格局二者之间的关系^[27]。然而,尚未形成关于城市化对景观格局变化的影响强度和方向的研究成果。因此,本研究试图通过时空特征来探讨土地利用变化及其对景观格局变化的影响之间的强度和方向,为洞庭湖地区更加精确制订发展规划提供参考。

洞庭湖地区是湖南省重要的生态经济区,是我国重要的粮食生产基地。2000-2015 年期间,该地区虽然实施退田还湖、还林等工程,但是,其经济的发展导致地区的水域面积和湿地面积加速减少,景观格局发生显著变化。因此,以该地区的遥感影像为基础,定量分析其土地利用和景观格局的时空变化,并利用 OLS 回归分析土地利用变化与景观格局之间的关系,以期对洞庭湖地区控制生态安全、可持续发展等规划提供决策参考。

1 研究区和研究方法

1.1 研究区概况

洞庭湖地区包括常德、益阳、岳阳 3 市共 24 个县(市、区)。2015 年,其总面积为 45366.61km²,占湖南省面积的 15%;人口总数为 1500 万,占湖南省人口的 21%。2000-2015 年期间,随着城市化和工业化的推进,建设用地面积由 2000 年的 877.08km² 增加到 2015 年的 1583.89km²,侵占了大量的耕地和水域。整个地区表现出水域面积下降、水质污染严重以及生物多样性减少等生态安全的问题。

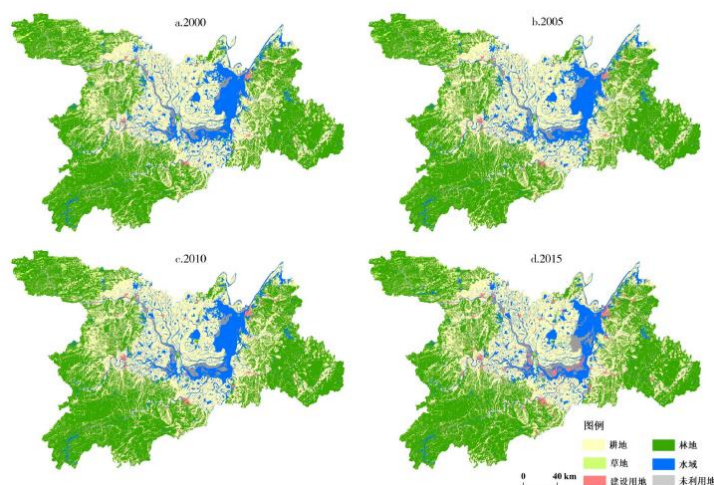


图 1 2000-2015 年土地利用变化

1.2 数据来源及处理

采集 2000、2005、2010 和 2015 年四个年份的夏季时期且云量最少的影像进行土地利用分类。整个分类过程包括影像预处理、感兴趣区选取、影像的分类、精度验证^[27-28]。①影像预处理。利用 En-vi5.3 平台,对影像进行几何校正、图像增强以及彩色合成。②感兴趣区选取。此步骤是分类的关键,本研究按照每个地类选取不少于 50 个样本区的标准,利用 Envi5.3 平台中的 AOI

工具在 4 个年份的影像上选取均匀分布的样本。③影像监督分类。本研究运用监督分类和人工判读等方法,根据光谱反射率、背景、阴影、地形和专家知识对影像进行数值处理,进而实现不同地类的分类识别。根据《土地利用现状分类标准(GB21010-2007)》,参考中国科学院土地利用/土地覆盖分类系统,结合洞庭湖区土地利用及景观的性质与特点^[29],将土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 个大类,土地利用类型分布如图 1 所示。④精度验证。运用 Envi5.3 平台的混淆矩阵,参照野外实测数据和 Google Earth 高分辨影像进行精度验证,最终得到 4 个年份土地利用的分类精度,2000、2005、2010 和 2015 年的分类精度分别为 86.3%、90.2%、93.6%和 98.2%,均大于 80%,Kappa 值超过 0.8,满足本研究后续研究的精度要求。

1.3 景观指数的计算

景观指数已广泛用于表征土地利用和景观格局的变化,包括斑块、类别和景观三个层次上的碎片化、异质性和连通性等方面的指数^[30-33]。景观指数是采用 FRAGSTATS4.2 软件计算得到。为了研究破碎化、异质性、连通性等方面的景观格局,本文选取了研究区的 8 个景观指数:PD、ED、LPI、ENN-MN、FRAC、AI、SHDI、CONTG。然后,通过重复性检查,删除具有相似结果或高度重叠的指数。最后,从 8 个指数中选取了 4 个指数。其中,斑块密度(PD)用于量化不同土地利用类型景观的面积和密度相关的特征;分形维数指标(FRAC)、边缘密度(ED)、聚集指数(AI)等指数用于研究不同土地利用类型景观的形态、分布、聚集性、破碎性特征。

在分析中,使用 ArcGIS10.2 中的 SPLIT 工具将土地利用类型数据按照县市区行政范围划分为 24 个单元。每个单元的景观指数使用 Fragstats4.2 软件计算。

1.4 回归分析

土地利用变化作为景观要素的重要组成部分,是导致景观格局变化的主要因素,其变化可以通过景观指数表征和解释。了解不同土地利用类型是如何促成景观格局变化能够更好地进行景观格局规划。为了研究两者之间的关系,既要了解土地利用变化的方向和幅度,又要确定景观格局的类型和变化,再计算土地利用变化与景观格局变化之间的关系,从而明确每种土地利用类型在景观格局变化中的方向和强度。

为此,本文假设景观格局变化是土地利用变化影响的结果。采用普通最小二乘法(OLS)分析土地利用变化与景观格局之间的关系,其中土地利用类型作为自变量,景观格局变化作为因变量^[34-35]。OLS 将研究区作为整体来研究,通过位置创建全局关系来反映平均条件,OLS 公式表示为:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon \quad (1)$$

式中: x_i 和 y 分别表示自变量和因变量; β_0 和 β_i 分别表示截距系数和回归系数; k 表示自变量的个数; ε 表示服从正态分布的随机误差。

2 结果与分析

2.1 土地利用的时空变化

研究结果表明,2000-2015 年期间,耕地、水域和建设用地发生了显著变化研究期间,耕地面积减少 2.39%,其占总面积的

比重从2000年的37.63%下降到2015年的36.73%，减少的区域主要集中在西北部的石门县和澧县；水域面积减少8.27%，其占总面积的比重从2000年的10.75%下降到2015年的9.86%，减少的区域主要集中在洞庭湖地区；建设用地急剧增加，其占总面积的比重由1.93%提高到3.49%，说明研究期间洞庭湖地区城市扩张幅度较大。从图2可以看出建设用地扩张的区域主要集中在县市区的城区及其周边区域，并表现出多中心的扩张模式。此外，洞庭湖地区中的常德、益阳、岳阳三市市区经历快速的建设用地扩张。

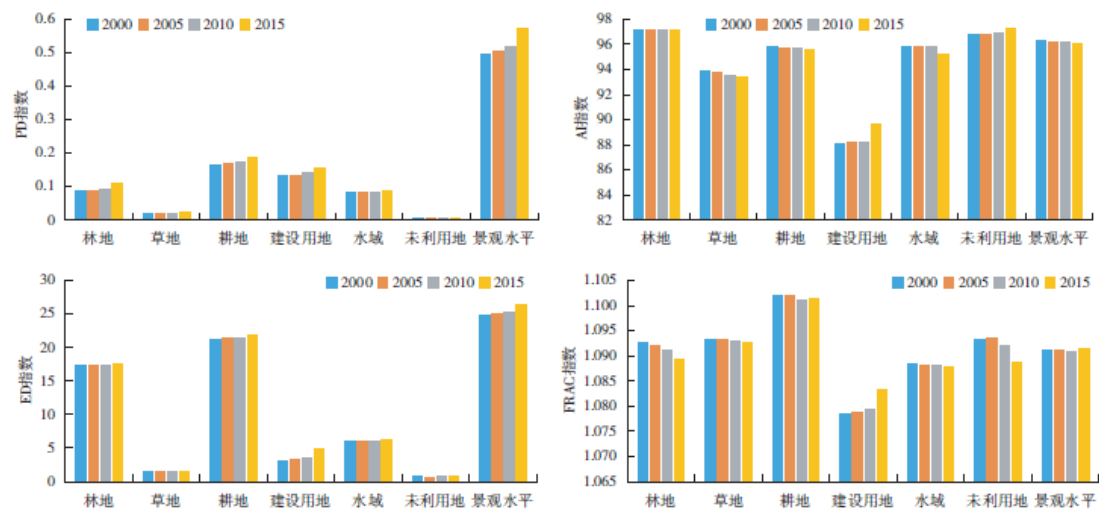


图2 2000-2015年景观指数变化

在其他土地利用方面，林地和草地的面积分别减少了0.40%和8.01%。相比之下，未利用地面积增加了35.03%（表1）。结果表明，除建设用地以外，所有土地利用的转换都是双向的。当某一特定范围内的一种土地利用类型转变为另一种土地利用类型时（例如，从农业用地转变为裸地），反之亦然（从裸地转变为农业用地）。然而，建设用地的变化总是来自于其他土地利用，并且是单向转变。

表1 2000-2015年土地利用结构变化

	时间	土地利用类型					
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
面积 (km ²)	2000	17070.29	21036.29	789.20	4878.15	877.08	715.58
	2005	16922.23	21024.67	781.54	5002.37	950.96	684.84
	2010	16850.28	21009.83	744.89	4994.63	1016.87	750.11
	2015	16662.36	20953.13	726.02	4474.96	1583.89	966.25
面积变化 (km ²)	2000-2005	-148.06	-11.62	-7.66	124.22	73.88	-30.74
	2005-2010	-71.95	-14.84	-36.65	-7.74	65.91	65.27
	2010-2015	-187.92	-56.70	-18.87	-519.67	567.02	216.14
	2000-2015	-407.93	-83.16	-63.18	-403.19	706.81	250.67

2.2 景观格局的时空变化

2.2.1 类型水平

从图 2 看出, 2000-2015 年, 耕地的斑块密度和边缘密度呈现增加趋势, 分维数表现出先减少后增长趋势, 而聚集指数出现小幅度的减少, 表明耕地在城市化进程中其完整性受到破坏, 但由于 1998 年湖区实施“退田还湖”等生态保护政策, 使得部分零散的耕地斑块减少, 从而耕地表现出集中分布, 景观越来越稳定。草地的分维数表现出先增加后减少的趋势, 集聚指数呈现不断减少趋势, 而其他两个指数基本不变, 草地主要分布于水域周边的滩涂以及河流的两岸, 其变化受气候、降水等水文现状的影响较大。林地的斑块密度和边缘密度表现出不断增加趋势, 分维数和集聚指数呈现不断减少趋势, 表明林地的面积有所减少, 破碎化程度总体上也在增加, 但是由于防护林等生态工程的实施, 使得林地的破碎化得到有效控制。建设用地的斑块密度和边缘密度是所有地类中变化最为显著的, 对整体的景观格局影响明显, 其破碎化在不断增加, 使得整个地区的景观格局稳定性变差, 这与全国城市发展的趋势密切相关。水域的斑块密度和边缘密度的变化不明显, 而分维数和集聚指数呈现减少的趋势, 表明研究期间湖区对湖面的保护成效明显, 除了降水对水域面积造成影响以外, 人类几乎没有造成湖面的减少。未利用地由于所占面积比例较小, 其斑块密度和边缘密度的变化不明显, 分维数呈现先增加后减少, 而集聚指数持续增加。主要是随着湖区的经济发展, 未利用地被不断开发为建设用地, 导致破碎化速度有所缓解。

2.2.2 景观水平

从图 3 看出, 研究期间, 景观水平层面下 ED 和 AI 指数变化最大, 其中, PD 指数 (0.49-0.57)、ED 指数 (24.90-26.38) 和 FRAC 指数 (1.09-1.10) 呈现上升, AI 指数 (96.25-96.03) 呈现下降, 表明洞庭湖地区景观格局的破碎程度上升和聚集程度下降。

类型景观指数的空间特征存在差异性:①县市区的城区 PD 指数显著增加, 因为该区域绿化程度的提高, 新的绿色空间打破了原有的单一建设用地的现状, 导致景观斑块的数量增加。在沅江市和云溪区 PD 指数的增加主要是由于耕地转变为建设用地, 使整个景观更加分散。②ED 和 FRAC 指数呈现“核心-边缘”的递增模式, 岳阳市区的 ED 和 FRAC 指数显著下降, 而远离市区的安乡县、沅江市的 ED 指数和桃源县、津市市的指数呈现出大规模、高强度的增长。③岳阳市区 AI 指数显著增加, 主要是因为市区建设用地以填充式扩张为主, 取代了市区内部的耕地和草地。安乡县和武陵区的 AI 指数显著减少, 而其余地区的 AI 指数没有显著变化。空间演变特征上, 四个景观指数变化最明显的区域发生在常德、益阳、岳阳三市市区。与此同时, 市区和周边县(市)的景观指数变化趋势相反。

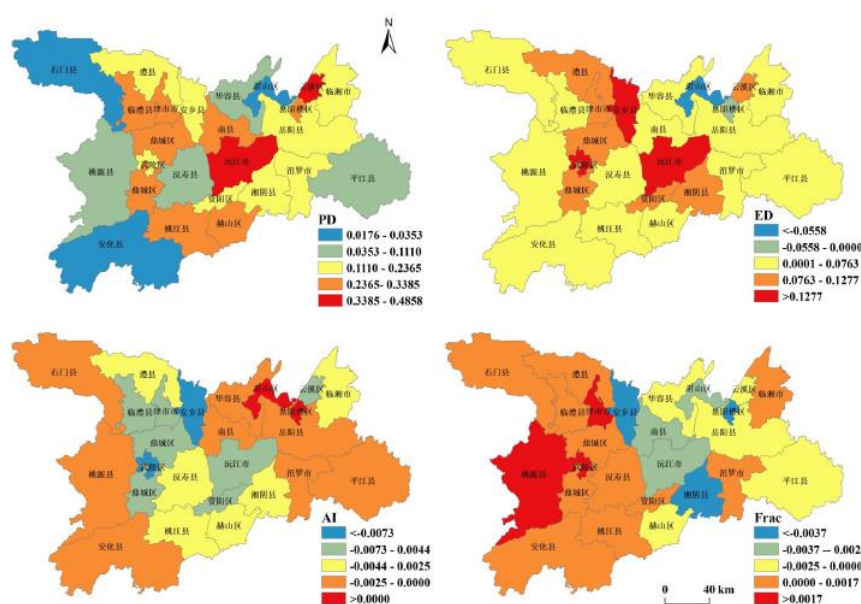


图 3 2000-2015 年景观指数变化率

2.3 土地利用变化与景观格局的关系

2.3.1 景观格局对土地利用变化的响应

表 2 中各土地利用系数代表对景观格局影响的强度, 正负号表示土地利用变化是否与景观格局变化一致或相反。回归结果表明, 变量 $p=0.000$ (<0.05), 具有统计学意义。根据表 2 的结果, 对比各土地利用系数发现土地利用与景观格局有着密切的联系, 未利用地和水域的变化与其他土地利用类型对景观格局影响的方向相反。其中, 耕地的变化对 AI (+0.00267) 和 FRAC (+0.106) 等景观指数具有正向影响作用; 对 PD (-0.676) 和 ED (-7.62) 等景观指数具有负向影响作用。林地的变化对 AI (+1.87) 和 FRAC (+34.7) 等景观指数具有正向影响作用; 对 PD (-368) 和 ED (-2631) 等景观指数具有负向影响作用, 并且负向作用最强。建设用地的变化对 AI (+0.137) 和 FRAC (+2.16) 等景观指数具有正向影响作用; 对 PD (-34.7) 和 ED (-162) 等景观指数具有负向影响作用。草地的变化对 AI (+0.438) 和 FRAC (+5.02) 等景观指数具有正向影响作用; 对 PD (-46.3) 和 ED (-361) 等景观指数具有负向影响作用。未利用地的变化对 PD (+983) 和 ED (+6437) 等景观指数具有正向影响, 并且正向作用最强; 对 AI (-3.57) 和 FRAC (-86.2) 等景观指数具有负向影响。水域的变化对 PD (+38) 和 ED (+183) 等景观指数具有正向影响; 对 AI (-0.125) 和 FRAC (-1.91) 等景观指数具有负向影响。

表 2 景观格局中土地利用变化的强度和方向

景观指数	相关方程	p-Value*
PD	PD=-1982-0.676 耕地-368 林地-34.7 建设用地-46.3 草地+983 未利用地+38 水域	0.000
ED	ED=-10036-7.62 耕地-2631 林地-162 建设用地-361 草地+6437 未利用地+183 水域	0.000
AI	AI=-12.3+0.00267 耕地+1.87 林地+0.137 建设用地+0.438 草地-3.57 未利用地-0.125 水域	0.000
FRAC	FRAC=182+0.106 耕地+34.7 林地+2.16 建设用地+5.02 草地-86.2 未利用地-1.91 水域	0.000

3 结论与讨论

3.1 结论

定量分析 2000-2015 年期间洞庭湖地区的土地利用和景观格局的时空变化特征, 进而探讨土地利用变化与景观格局之间的关系。首先, 对 Landsat 遥感影像进行分类, 识别土地利用时空变化特征; 然后, 利用 PD、ED、AI、FRAC 等景观指数, 研究该地区景观格局的时空变化特征; 最后, 利用 OLS 回归分析土地利用变化与景观格局之间的关系。结果表明:

①2000-2015 年期间, 人口集聚和经济发展驱动建设用地扩张, 进而导致洞庭湖地区的土地利用变化显著, 其中, 耕地、林地、水域、草地面积减少, 建设用地和未利用地面积增加。除了建设用地一直处于增长以外, 其他类型用地面积呈现波动变化, 各时间段的变化存在差异, 表明建设用地的转化为单向的, 而其他类型用地的转换都是双向的。

②2000-2015 年期间, 土地利用变化导致景观格局变化显著, 提高了整个景观的破碎化和异质性。其中, 耕地、林地和建设用地的变化对景观格局的破碎化和异质性的影响最大。不同类型水平的景观格局变化存在差异, 景观水平下破碎程度上升和聚集程度下降, 类型水平下聚集程度呈现上升趋势。同时, 景观格局变化存在区域差异性, 远离市区的地区, 特别是东北部、南部和西南部, 以及边缘地带, 城市化的增加导致了破碎程度上升, 其原因是城市土地的分散增长及其对农业用地和草原的影响, 导致这些地区的分散化加剧。

③本研究运用 OLS 模型对洞庭湖地区景观格局变化的影响机制进行分析,能够有效地探讨土地利用变化对景观格局变化的作用强度。但仍存在一定局限,一方面只是从土地利用方面进行分析,并未综合考虑经济、社会以及生态等因素对景观格局变化的影响;另一方面,本研究只是从政策的角度对景观格局变化的影响进行分析,但未进行定量分析。未来的研究可以采用多目标优化的方法,从多情景的视角优化景观格局,以期为洞庭湖地区未来景观格局变化及可持续发展提供参考。

3.2 讨论

3.2.1 景观格局变化的影响因素

综合景观格局对土地利用变化的响应结果发现,耕地、林地和建设用地的变化对景观格局的空间异质性有驱动作用。其中,特别是建设用地驱动作用最强,导致耕地和林地转变为建设用地,意味着人类活动的强度影响着土地利用变化、景观格局破碎化以及生态系统的变化。本研究进一步梳理耕地、林地和建设用地对景观格局变化的作用机制,为洞庭湖区如何降低土地利用变化对景观格局的影响提供参考。

耕地。耕地是衡量区域粮食安全水平的重要指标。研究期间,洞庭湖实行“退耕还湖”等水域恢复政策,直接推动了耕地、水域等景观类型的变化,导致耕地向水域和草地景观类型转移大幅度增加。同时,研究区经济发展的需求,对建设用地需求强度提升,导致耕地面积出现快速下降。

林地。林地是衡量区域生态服务功能的重要体现。研究期间,洞庭湖为了保护湿地面积,对区域内欧美品种的杨树进行砍伐,从而导致林地面积的下降。同时,研究区属于冲积平原,缺乏地形因素对建设用地的开发制约,助长建设用地的快速扩张,从而增加了景观破碎化程度和斑块形状复杂程度,为维持区域生态系统结构稳定制造障碍。

建设用地。建设用地是衡量区域经济发展水平的重要标签。研究期间,研究区为了实现 GDP 的高速度增长目标,不断加大建设用地的扩张规模,通过县(市、区)的建成区及其周边区域的建设用地扩张和新城的建设,建设用地的扩张导致林地、耕地等地类面积减少,从而增加了整个研究区景观格局的异质性和破碎性。

整体而言,洞庭湖地区的人口急剧增长、经济发展、工业水平的提升都是导致土地利用和景观格局变化的主要因素;土地利用模式和区域规划和政策,也是景观格局变化的重要原因之一。同时,由于该地区的快速城市化,鼓励投资者加大对工业发展和城镇开发的投入,发展基础设施,因此,人口迁移的数量增加,建立新城区,从而导致土地利用的急剧变化。同样,Yu 等研究结果表明建设开发区、交通网络等工程对土地利用变化产生了重大影响,导致大部分土地类型发生转变,如耕地、草地、林地转变为建设用地和未利用地^[36]。因此,随着建设用地的扩张,区域景观逐渐被建设用地景观所替代,造成区域的自然生态系统的破坏,形成破碎化的景观格局。

3.2.2 对区域景观格局规划的启示

作为长江经济带的核心区域,近年来研究区的县(市、区)建成区不断繁荣,郊区和远郊区的城市建设用地不断扩大,对现有土地利用格局造成剧烈的冲击。研究表明,土地利用变化对洞庭湖地区的景观格局影响存在空间异质性。利用 OLS 探讨土地利用变化与景观格局之间的相关系数,可以为生态经济区空间高质量发展规划提供决策依据。因此,在制定洞庭湖地区空间高质量发展规划时,为避免景观格局的破坏,影响区域可持续发展,需采取以下措施:首先,土地利用规划优化调控应注重对湿地、林地及耕地的保护,维护和强化区域整体的景观格局的连续性,降低景观格局的破碎化程度。同时,加强城区和郊区的绿地保护,恢复景观多样性。2000-2015 年期间该地区土地利用类型以建设用地增长为主,自然或半自然的绿地面积逐渐减少。虽然建设了公园等城市绿地,但研究期间土地利用变化对景观格局的负面影响不断加大。因此,决策者应注重保护自然或半自然的绿地,建设更多的绿色景观,增加城市景观的多样性。其次,划定洞庭湖生态红线,严格控制建设用地的规模。2000-2015 年期间

建设用地扩张过程中侵占了大量的耕地和林地，导致景观格局的破碎化程度不断提升。因此，在洞庭湖地区建设新区的过程中，有必要实施紧凑型城市理念，限制建设用地增长，加大对耕地、林地的保护强度。最后，构建洞庭湖生态安全格局。针对研究区破碎化程度和景观形状复杂程度加大的问题，决策者应重点保护山区的林地景观，以及半山区的林地、草地和耕地景观。以自然景观斑块的空间连接和生态服务功能集聚为手段，选择景观生态功能高、中部的水域和规模较大的林地作为基础，以此构建生态廊道、生态关键点，促进区域整个生态系统物质转化和能量通畅。

参考文献:

- [1]Liu X, Li X, Chen Y, et al. A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data [J]. *Landscape Ecology*, 2010, 25(5): 671-682.
- [2]Pickett S T, Cadenasso M L. Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems [J]. *Science*, 1995, 269: 331-334.
- [3]Salvati L, Zambon I, Chelli F M, et al. Do spatial patterns of urbanization and land consumption reflect different socioeconomic contexts in Europe? [J]. *Science of The Total Environment*, 2018, 625:722-730.
- [4]Wu J, Marceau D. Modeling complex ecological systems: An introduction[J]. *Ecological Modelling*, 2002, 153(1): 1-6.
- [5]王琦, 王晓娜, 牟惟勇, 等. 黄石市土地利用景观格局变化研究[J]. *中国农学通报*, 2018, 35(9):81-85.
- [6]Feng Y, Luo G, Lu L, et al. Effects of land use change on landscape pattern of the Manas River watershed in Xinjiang, China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 64(8):2067-2077.
- [7]Russell J M, Ward D. Historical land-use and vegetation change in northern Kwazulu—Natal, South Africa [J]. *Land Degradation & Development*, 2016, 27(7):1691-1699.
- [8]Zdruli, P. Land resources of the Mediterranean: status, pressures , trends and impacts on future regional development [J]. *Land Degradation & Development*, 2014, 25(4): 373-384.
- [9]Aguiar F C, Martins M J, Silva P C, et al. Riverscapes downstream of hydropower dams: Effects of altered flows and historical land-use change [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 153:83-98.
- [10]Lawle J J, Lewis D J, Nelson E, et al. Projected land-use change impacts on ecosystem services in the United States [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(20):7492-7497.
- [11]刘永强, 廖柳文, 龙花楼, 等. 土地利用转型的生态系统服务 价值效应分析——以湖南省为例[J]. *地理研究*, 2015, 34(4):691-700.
- [12]Turner M G. Spatial and temporal analysis of landscape pattems[J]. *Landscape Ecology*, 1990, 4(1):21-30.

-
- [13]Xie Y, Yu M, Bai Y, et al. Ecological analysis of an emerging urban landscape pattern—desakota: a case study in Suzhou, China[J]. Landscape Ecology, 2006, 21(8):1297–1309.
- [14]Serra P, Pons X, D. Sauri. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors [J]. Applied Geography, 2008, 28(3): 189–209.
- [15]Solon J. Spatial context of urbanization: Landscape pattern and changes between 1950 and 1990 in the Warsaw metropolitan area, Poland [J]. Landscape & Urban Planning, 2009, 93(3): 250–261.
- [16]陈芝聪, 谢小平, 白毛伟. 南四湖湿地景观空间格局动态演变[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10):3316–3324.
- [17]邱剑南, 侯淑涛, 范永辉, 等. 富锦市土地利用景观格局遥感分析[J]. 测绘科学, 2015, 40(2):115–118, 154.
- [18]Echeverria C, Newton A, Nahuelhual L, et al. How landscapes change: Integration of spatial patterns and human processes in temperate landscapes of southern Chile [J]. Applied Geography, 2012, 32(2): 822–831.
- [19]Nagendra H, Munroe D K, Southworth J. From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2004, 101(2):111–115.
- [20]Schroder B, Seppelt R. Analysis of pattern-process interactions based on landscape models—Overview, general concepts, and methodological issues [J]. Ecological Modelling, 2006, 199(4):505–516.
- [21]刘焱序, 王仰麟, 彭建, 等. 基于生态适应性循环三维框架的城市景观生态风险评价[J]. 地理学报, 2015, 70(7):1052–1067.
- [22]巩杰, 赵彩霞, 谢余初, 等. 基于景观格局的甘肃白龙江流域生态风险评价与管理[J]. 应用生态学报, 2014, 25(7):2041–2048.
- [23]Matthias Burgi, Hersperger A M, Schneeberger N. Driving forces of landscape change—current and new directions [J]. Landscape Ecology, 2005, 19(8):857–868.
- [24]任嘉衍, 刘慧敏, 丁圣彦, 等. 伊河流域景观格局变化及其驱动机制[J]. 应用生态学报, 2017, 28(8):2611–2620.
- [25]刘菁华, 李伟峰, 周伟奇, 等. 京津冀城市群景观格局变化机制与预测[J]. 生态学报, 2017, 37(16):5324–5333.
- [26]梁发超, 刘诗苑, 刘黎明. 近 30 年厦门城市建设用地景观格局演变过程及驱动机制分析[J]. 经济地理, 2015, 35(11):159–165.
- [27]Li H, Peng J, Yanxu L, et al. Urbanization impact on landscape patterns in Beijing City, China: A spatial heterogeneity perspective [J]. Ecological Indicators, 2017, 82:50–60.
- [28]陈仙春, 赵俊三, 陈磊士, 等. 基于 Landsat 影像的玉溪市红塔区土地覆盖分类及变化分析[J]. 森林工程, 2019, 35(3):1–8.

-
- [29]熊建新, 陈端吕, 彭保发, 等. 洞庭湖区生态承载力时空动态模拟[J]. 经济地理, 2016, 36(4):164-172.
- [30]Cheung A K L, Brierley G, O' Sullivan, David. Landscape structure and dynamics on the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Ecological Modelling, 2016, 339:7-22.
- [31]Slager, C. T J, Vries D. Landscape generator: Method to generate landscape configurations for; spatial plan-making [J]. Computers Environment & Urban Systems, 2013, 39(5): 1-11.
- [32]Su S, Wang Y, Luo F, et al. Peri-urban vegetated landscape pattern changes in relation to socioeconomic development [J]. Ecological Indicators, 2014, 46: 477-486.
- [33]徐晓龙, 王新军, 朱新萍, 等. 1996-2015 年巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地景观格局演变分析[J]. 自然资源学报, 2018, 33(11):1897-1911.
- [34]许剑辉, 赵怡, 钟凯文, 等. 基于地理加权和最小二乘线性回归模型的气温与 NDVI 聚集密度的相关分析[J]. 热带地理, 2017, 37(2):269-276.
- [35]王佳, 钱雨果, 韩立建, 等. 基于 GWR 模型的土地覆盖与地表温度的关系——以京津唐城市群为例[J]. 应用生态学报, 2016, 27(7):2128-2136.
- [36]Yu X, Ng C. An integrated evaluation of landscape change using remote sensing and landscape metrics: a case study of Pa-nyu, Guangzhou [J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(6): 1075-1092.