

福州市土地利用景观格局变化及驱动力研究^①

陈 铸¹, 傅伟聪^{1,2}, 黄钰麟¹, 阙晨曦¹, 郑祈全³, 董建文¹

1. 福建农林大学 园林学院, 福州 350002; 2. 英属哥伦比亚大学 景观合作实验室, 温哥华 V6T 1Z4;
3. 中国文化大学 环境设计学院, 台北 11149

摘要: 以 1995 年、2005 年和 2015 年福州市遥感影像解译数据以及自然和社会经济统计数据为基础, 运用景观指数、Shannon 多样性 t 检验和土地利用信息熵等方法, 结合 Logistic 回归模型分析福州市 20 年间土地利用景观格局动态变化规律及驱动机制。结果表明: ① 20 年间福州市林地、农地和未利用土地面积呈减少趋势, 而建设用地和水体面积持续上升; 建设用地大量蚕食林地和农地, 自然景观聚集度下降, 破碎化程度日益严重。② 区域整体景观格局空间结构分布更加平均, 景观多样性逐渐增加, 在 3 个时期内福州市景观格局多样性均呈现极显著变化。③ 通过 Logistic 回归模型分析可知, 林地转变机率主要受地形因素影响, 农地、水体和未利用土地转变机率主要受可达性因素影响, 建设用地的转变机率主要受人口因素影响。

关键词: 土地利用; 景观格局; 景观指数; Shannon 多样性 t 检验; Logistic 回归模型

中图分类号: TU986

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2020)01-0099-09

景观格局通常被用来描述景观的空间结构特征, 它可通过景观格局指数和空间统计学的方法来加以分析^[1]。从景观生态学的角度出发, 深入研究土地景观格局的动态变化, 揭示导致其发生变化的因素和机制, 有助于了解区域性景观格局的发展现状以及未来趋势, 在优化景观格局的同时, 也能够为土地合理开发利用及资源整合管理的相关决策提供可靠的数据支撑, 指明行动方向^[2-3]。国内外一些学者^[4-11]运用景观格局指数等方法来探讨森林、湿地以及城市等区域的动态演变特征。但众多研究中对于不同层级景观指数的综合探讨相对少见, 其中将土地景观格局演变结合 Shannon 多样性 t 检验分析的研究则更少^[12]; 不同类型驱动力因子存在量纲和数量级的差异, 而现有研究中也少有在分析前期对其进行标准化的预处理工作; 并且研究区有关景观格局动态演变及其驱动机制的研究还较为薄弱, 因此亟须开展相关的研究工作, 为已有研究成果进行一定的完善和补充^[13]。

本研究利用 1995 年、2005 年和 2015 年 3 期遥感影像解译数据以及自然和社会经济数据, 基于地理信息技术, 运用景观指数、Shannon 多样性 t 检验、土地利用信息熵等方法, 结合 Logistic 回归模型定性定量的分析福州市 20 年间土地利用景观格局时空变化及其与驱动力因子之间的相互关系, 以期为福州市土地利用景观格局优化及生态可持续发展提供理论基础, 并能作为未来土地资源合理利用以及城市发展战略的决策依据。

1 研究区概况

福州市作为福建省的省会城市, 是福建省的政治、经济、文化中心, 其土地利用景观格局的变化在东南沿海城市中具有一定典型性。福州市位于 $25^{\circ}15' - 26^{\circ}39' N$, $118^{\circ}08' - 120^{\circ}37' E$, 地处福建省海岸中间

① 收稿日期: 2018-08-01

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201404301)。

作者简介: 陈 铸(1993-), 男, 硕士研究生, 主要从事风景园林规划设计、景观监测与模拟、城乡规划研究。

通信作者: 董建文, 教授, 博士研究生导师。

段、闽江下游,海岸线全长 1 137 km. 福州市属于典型的亚热带季风气候,温暖湿润,年平均气温 16~20 °C,年降雨量 900~2 100 mm,平均日照时间 1 700~1 980 h. 东侧与东海相邻,和台湾省隔海相望;北西南三侧分别与宁德市、南平市、三明市、泉州市和莆田市相接. 现下辖 6 个区、6 个县以及 1 个县级市,辖区陆地总面积为 11 968 km²,截止 2016 年末全市常住人口为 757 万人.

2 材料与方 法

2.1 数据来源与处理

研究选取季向一致,且总体云量低于 10%的福州市 1995 年、2005 年和 2015 年的 3 期的 Landsat TM 和 Landsat OLI_TRIS 遥感影像图作为基础数据,在 ERDAS IMAGINE 2015 软件的支持下,根据《土地利用现状分类》标准进行影像解译,解译过程结合利用监督与非监督分类方法同步进行,并通过实地调查福州市土地利用实际情况,后对分类后的数据进行修正,最终将研究区分类为林地、农地、水体、建设用地和未利用土地 5 种景观类型. 为保证分类结果的准确性,在 3 期对应遥感影像图上利用分层抽样随机选取样本点进行监督检验,1995 年、2005 年和 2015 年的土地分类栅格数据 Kappa 系数检验结果分别为 88.06%,90.32%和 89.25%,均达到分类精度标准.

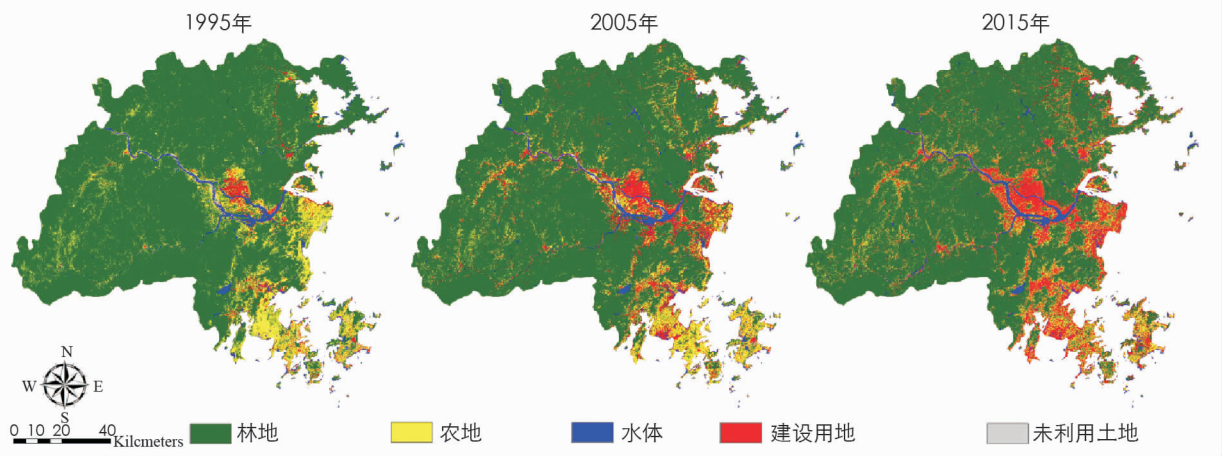


图 1 福州市 1995 年、2005 年和 2015 年土地利用图

2.2 研究方法

2.2.1 景观格局指数

景观指数能够通过简单的定量指标,高度浓缩地反映出景观格局的结构组成和空间配置^[14],可用来评估和比较不同景观或同一景观在不同时期的变化,或是比较同一类景观在不同的规划设计下呈现出的不同结果^[15-16]. 这些指标主要分为 3 个层级:斑块层级、类别层级和景观层级.

本研究利用 Fragstats 4.2 软件计算不同类型的景观指数,主要选取的指数分别属于类别层级和景观层级. 选取的类别层级指数包括:斑块类型总面积(CA)、斑块类型所占景观面积比例(PLAND)、斑块数量(NP)、最大斑块指数(LPI)、面积加权平均回旋半径指数(GYRATE_AM)、周长面积分维数(PAF-RAC)、景观形状指数(LSI)和斑块内聚力指数(COHESION);所选取的景观层级指数包括:边缘密度(ED)、蔓延度(CONTAG)、优势度指数(DI)和 Shannon's 多样性指数(SHDI).

2.2.2 土地利用信息熵

土地利用信息熵能够综合地反映出研究区域在一定的时期内不同土地利用类型的均衡程度,对于区域的土地利用结构合理规划和配置具有一定的指导意义^[17]. 信息熵的值越大,表明各类土地利用类型的面积相差越小;当土地利用系统处于完全平衡的状态时,信息熵的值达到最大^[18]. 具体公式为

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log P_i \quad (1)$$

式中: P_i 表示研究区域内不同土地利用景观类型占研究区总面积的比例; n 表示土地利用景观类型的数量.

2.2.3 Shannon 多样性 t 检验

为探究福州市在 1995 - 2015 年间是否因为城市化进程, 而导致整个区域的景观格局变化产生了不同程度的差异, 可根据 Magurran^[19] 在 1988 年提出的 Shannon 多样性 t 检验方法进行分析. 而 Shannon 多样性 t 检验的计算公式为:

$$t = \frac{(H_1 - H_2)}{(\text{Var}H_1 + \text{Var}H_2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

$$H_i = - \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i - \frac{m_i - 1}{n_i} \quad (3)$$

$$\text{Var}H_i = \frac{\sum_{i=1}^m P_i (\ln P_i)^2 - (\sum_{i=1}^m P_i \ln P_i)^2}{n_i} + \frac{m_i - 1}{2n_i^2} \quad (4)$$

$$d. f. = \frac{(\text{Var}H_1 + \text{Var}H_2)^2}{(\text{Var}H_1)^2/n_1 + (\text{Var}H_2)^2/n_2} \quad (5)$$

式中: H_i 表示 i 时期 Shannon 多样性指数; $\text{Var}H_i$ 是景观多样性变异数; P_i 是某一土地利用景观类型在总体景观中占有的面积百分比; m_i 表示 i 时期景观类型总数; n_i 是 i 时期斑块数量; $d. f.$ 表示自由度. 在显著 ($\alpha=0.05$) 或极显著 ($\alpha=0.01$) 水平下, 如果 t 值大于自由度理论查表值, 则可以说明该时期内的景观格局变化差异具有统计学意义, 若相反则说明变化差异性不具有统计学意义.

2.2.4 Logistic 回归模型

为探讨自然及社会经济等驱动力因子对研究区土地景观格局变迁几率的影响, 本研究利用 Logistic 回归模型以分析各影响因素与土地景观格局变迁几率的关系^[20-22], 其数学式为

$$P_i = \frac{\exp(\alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni})}{1 + \exp(\alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni})} \quad (6)$$

在公式(6)的基础上可以进行 logit 转换, 便可以得到线性公式:

$$\log\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni} \quad (7)$$

其中: P_i 为其他土地转化为土地 i 的机率; $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni}$ 是影响土地转化的因素; α 是常数; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 是自变量的回归系数. 如果 β 为正(负)值, 则对应的自变量能够增加(减少) i 发生的机率, β 绝对值越大则对应自变量对 i 的发生机率影响越大^[23].

本研究利用 Wald χ^2 来检定模型回归系数, 以对数概似率检验模型拟合度, 计算模型中各项参数对于变数变异性联合解释能力^[24], 后通过对数概似率完成自由度等于 $n-1$ 的卡方检定, 如果检定结果超过理论卡方值, 便可认定模型拟合度良好, 可以有效地对因变量变化情况进行解释.

3 结果与分析

3.1 土地利用结构动态演变特征

利用福州市 3 期土地利用栅格数据, 通过 Fragstats 4.2 软件可得出类别层级 CA 和 PLAND 两个景观指数, 通过整合计算产生 1995 - 2015 年福州市土地利用结构及信息熵变化情况(表 1). 1995 - 2005 年间, 林地、农地和水体变化率较小, 分别为 5.67%, 6.58% 和 12.32%, 但林地面积比例为五类用地中最大, 故变化较为明显; 而建设用地与未利用土地变化率较大, 建设用地面积成倍增长. 2005 - 2015 年间, 五类土地变化率相较 10 年前均有所减缓, 水体与建设用地减缓最为明显, 分别为 2.98% 和 50.39%. 1995 - 2015 年间, 建设用地变化最为明显, 在过去 20 年间面积持续增加, 不断侵占林地、农地和未利用土地面积, 而水体面积的增加, 一方面是由于城市发展, 下垫面硬质化增加, 导致雨季时期福州常处于内涝状态, 常年雨水无法下渗直接排入河流, 另一方面由于城市发展后期坑塘水库的增加, 从而研究区内水体面积 20 年内小幅上升.

福州市 3 个时期的土地利用信息熵分别为 0.615 9, 0.745 1 和 0.811 1, 变化特征表现为土地利用系统有序度持续减少. 福州随着城市化进程加快, 社会经济的不断发展, 导致土地利用结构熵值不断增加, 由此可见应该加强对林地和农地的保护, 防止建设用地的大幅增加而导致占用大量林地和农地.

表 1 土地利用结构及信息熵变化表

年份和时期	变量	林地	农地	水体	建设用地	未利用土地
1995 年	CA/hm ²	955 468	122 356	27 736	30 164	9 544
	PLAND/%	83.43	10.68	2.42	2.63	0.83
	信息熵			0.615 9		
2005 年	CA/hm ²	901 268	114 300	31 152	92 364	5 492
	PLAND/%	78.74	9.99	2.72	8.07	0.48
	信息熵			0.745 1		
2015 年	CA/hm ²	862 348	108 024	32 080	138 908	3 768
	PLAND/%	75.31	9.43	2.80	12.13	0.33
	信息熵			0.811 1		
1995 - 2005 年	面积变化/hm ²	-54 200	-8 056	3 416	62 200	-4 052
	变化率/%	-5.67	-6.58	12.32	206.21	-42.46
2005 - 2015 年	面积变化/hm ²	-38 920	-6 276	928	46 544	-1 724
	变化率/%	-4.32	-5.49	2.98	50.39	-31.39
1995 - 2015 年	面积变化/hm ²	-93 120	-14 332	4 344	108 744	-5 776
	变化率/%	-9.75	-11.71	15.66	360.51	-60.52

3.2 土地利用景观格局演变分析及检定

3.2.1 类型层级景观格局变化

运用 Fragstats 4.2 软件计算福州市 3 期类型层级景观指数(表 2)。由表 1 和表 2 综合分析可知,林地在 1995 - 2015 年间持续减少,斑块数量逐渐上升,而最大斑块指数却在降低,说明由于建设用地的增加,林地正在发生面积减少及整体景观破碎化现象,林地内的部分生态物种和生态过程受到影响,其生物多样性、水源涵养以及固碳功能遭受破坏;林地最大斑块指数在 3 个时期均为五类用地中最大,由此可见林地为福州市主导景观类型;面积周长分维数 20 年间基本维持稳定状态,说明林地景观虽受外界影响较大,但整体形状复杂性依然保持稳定;内聚力指数的减小说明由于破碎化的发生林地内部斑块之间的节点数减少,自然连通度降低;面积加权平均回旋半径指数的减少,说明林地内部紧实程度逐渐降低,而景观形状指数的增加更说明林地景观内部斑块趋于离散,聚集程度降低,这些变化使得林地景观内部生物物种迁徙受到影响,生物可活动区域范围逐渐减少。说明由于社会经济的发展和人口的急剧增加,城市缺乏对林地资源的合理利用和监督管理,导致城区内部及周边的绿化带遭受严重破坏。

农地在 1995 - 2015 年间,斑块数量逐年上升,使得最大斑块指数持续降低,由此可见农地与林地一同正在发生景观破碎化现象,从而使得农地景观斑块所能维持生存的物种数量减少,但农地破碎化现象可使得农地拥有较强的抵抗外来干扰及病虫害的功能,能够防止和抑制病虫害传播;面积加权平均回旋半径指数的减少,说明农地景观内部斑块趋于松散,斑块间连接节点数逐年降低;景观形状指数的增加,说明农地内部斑块数量增加导致不同斑块边缘数增多,由此可见内部景观聚集度降低;而从斑块内聚力指数可看出,同类斑块的天然连通度急剧下降,这种现象说明城镇及乡村的城市化进程正在加强,居民不断占用农田建造私有民宅,农地景观正在遭受城镇及农村等居民点建设用地的分割和破坏;而家庭联产承包制对于农地的分配,在原本农地占有量较少的情况下,这种单体经营农地的方式直接导致了农地破碎化^[25]。

1995 - 2015 年之间,水体的斑块数量表现出先上升后稳定的状态,而最大斑块指数则先下降后上升,这表明在 1995 - 2005 年期间福州市经济高速发展,导致部分区域水体斑块结构发生破碎化,但在城市发展至一定规模后,由于下垫面硬质面积增加,生活污水和雨水的未经处理直接排放,导致水体景观虽然在数量上趋于稳定,但本质上存在污染严重的问题;面积加权平均回旋半径指数和斑块内聚力指数先减少后增加,表明水体景观内部自然连接度在城市快速发展时期遭受到破坏;而景观形状指数的先增加后稳定,说明发生破碎化后水体景观斑块形状趋于复杂且不规则,某种程度上反映出由于人类活动致使水域环境遭受影响,虽然周长面积分维数表现出整体结构保持稳定,且面积有小幅上升,但水体斑块内部质量急剧下降,

水资源恶化问题日益突出。

建设用地面积在 1995 - 2015 年间持续增加, 斑块数量和最大斑块指数呈现持续增加趋势, 但是 2005 - 2015 年相比 1995 - 2005 年增加量有所降低, 说明福州市在 20 世纪 90 年代经历了经济高速发展, 城市快速扩张的阶段; 结合景观形状指数的增加一同分析, 反映出城市化进程不仅发生在主城区, 同样发生在零散分布的乡镇及村庄区域, 导致原本农田和林地景观被大量侵占; 而面积加权平均回旋半径指数和斑块内聚力指数逐年上升, 说明建设用地在空间上的聚集度和连接度不断加强, 用地结构形态趋于紧凑. 这种现象一方面是由于城乡交通系统的日益完善, 不同区域之间的通达性得到提升; 另一方面则是因为在发生聚集连接的过程的同时, 建设用地正在不断蚕食临近的异类用地景观, 原本零散的用地不断向外扩大最终联结成片.

未利用土地在 20 年间面积不断减少, 斑块数量先减少后趋于稳定, 最大斑块指数则逐渐减少, 说明在城市发展时期未利用土地被农地或建设用地等土地人为侵占, 面积不断减少; 而面积加权平均回旋半径指数和斑块内聚力指数的降低, 表明斑块连接度和聚合度持续降低; 景观形状指数的降低也说明其形状变为更加规则, 更多呈现出矩形或方形; 周长面积分维数相对其他四类用地有较大变化, 说明未利用土地整体斑块形态在人类活动的影响下改变较大.

表 2 类型层级上的景观指数

用地类型	年份/年	NP/个	LPI/%	GYRATE_AM/m	PAFRAC	LSI	COHESION
林地	1995	1 366	79.45	39 034.38	1.56	35.26	99.89
	2005	1 611	42.82	28 432.06	1.55	42.57	99.79
	2015	1 763	40.50	28 112.91	1.56	47.41	99.79
农地	1995	5 098	1.63	2 524.61	1.64	92.21	93.13
	2005	6 414	1.57	2 030.55	1.63	99.81	90.41
	2015	8 266	0.25	606.60	1.66	118.02	75.55
水体	1995	940	0.94	6 810.25	1.51	35.98	93.12
	2005	1 439	0.88	4 315.24	1.51	41.81	90.45
	2015	1 454	1.06	6 394.11	1.52	41.14	91.55
建设用地	1995	2 353	0.39	787.80	1.60	56.51	79.75
	2005	5 097	1.39	1 906.08	1.62	88.04	90.58
	2015	5 421	1.78	3 124.32	1.62	93.77	94.60
未利用土地	1995	997	0.05	337.68	1.59	35.97	58.15
	2005	624	0.03	283.72	1.53	26.73	51.20
	2015	566	0.01	176.62	1.60	25.82	36.61

3.2.2 景观层级土地格局变化

基于 Fragstats 4.2 软件平台计算得出 1995 年、2005 年和 2015 年 3 期景观层级指数变化情况(表 3). 通过分析表 3 可知, 1995 - 2015 年研究区整体边缘密度的增加, 反映出景观总体斑块分布状态连续性降低, 总边缘长度增加; 而蔓延度指数的减少, 说明用地空间结构配置破碎程度加剧, 景观类型分布情况更加复杂和零散, 从而导致不同类型景观之间共同边界增加; Shannon' s 多样性指数不断增加, 说明研究区内景观异质性在 20 年间不断升高, 景观类型表现更为多样化, 不同类型土地景观空间结构分布更加平均; 优势度指数逐渐减少也表明区域内收到一种或几种优势景观的主导作用有所削弱, 各类型景观在生态过程中的功能相对趋向均衡化. 说明在城市化进程中, 建设用地不断侵占原本优势自然景观, 导致整体景观破碎化程度日渐深化, 不同类型景观之间连接程度降低, 人为因素对自然干扰越发明显, 从而对各类生物物种迁徙和物质、能量的交换过程产生一定影响.

表 3 景观层级上景观指数

年份/年	ED/(m/hm ²)	CONTAG/%	DI	SHDI
1995	14.11	67.31	0.99	0.62
2005	18.37	59.82	0.86	0.75
2015	21.22	56.19	0.80	0.81

3.2.3 景观格局变迁检定

根据 Shannon 多样性指数说明,福州市 1995 - 2015 年景观多样性不断增加,但是景观变化的显著效果与否并不了解,因此本研究利用 Shannon 多样性 t 检验方法针对研究区景观格局变化进行检验,旨在探究福州市不同时期景观格局变迁是否具有统计学意义,分析结果如表 4 所示. 基于 Shannon 多样性 t 检定方法分别对福州市 1995 - 2005 年、2005 - 2015 年以及 1995 - 2015 年 3 个不同时期进行检验,根据表 4 可知在极显著水平即 $\alpha=0.01$ 情况下,3 个检验时期 t 值大于理论查表值(自由度分别为 22 910.43,31 576.11 和 21 683.28)几率都小于 0.01,由此可证明福州市在 3 个检验时期的景观格局均呈现极具有统计学意义的变化. 表明由于社会经济发展和城市规模不断扩张,自然地景正在遭受人为干扰,导致破碎化程度增加且斑块形状趋于复杂,人类活动对于各类土地景观格局造成的影响在每个时期均呈现出极具有统计学意义的变化.

表 4 福州市 Shannon 多样性 t 检定结果

时期	m	n_1	H_1	$VarH_1$	n_2	H_2	$VarH_2$	t 值	$d. f.$ 值	t 值机率
1995 - 2005	5	15 185	0.74	6.73×10^{-5}	10 754	0.62	9.83×10^{-5}	10.048 89	22 910.43	$5.20 \times 10^{-24} **$
2005 - 2015	5	17 470	0.81	5.35×10^{-5}	15 185	0.74	6.73×10^{-5}	6.009 68	31 576.11	$9.40 \times 10^{-10} **$
1995 - 2015	5	17 470	0.81	5.35×10^{-5}	10 754	0.62	9.83×10^{-5}	15.856 44	21 683.28	$1.31 \times 10^{-56} **$

注: * * 表示 Shannon 多样性 t 检定机率值小于 0.01,即研究区景观格局呈极具有统计学意义的变化.

3.3 景观格局演变驱动力分析

利用 3 期土地利用栅格数据结合自然及社会经济统计数据进行 Logistic 回归分析,旨在探讨各土地利用景观格局变化与不同驱动力因子之间的定量关系. 在综合参考类似研究以及考虑数据可获得性的基础上,选取以下 14 个驱动力因子. 主要有: ①地形因素: 海拔高度、坡向、坡度; ②可达性因素: 到林地的距离、到农地的距离、到水体的距离、到建设用地的距离、到未利用地的距离、到主要公路的距离、到铁路的距离、到城镇的距离; ③人口因素: 人口密度; ④经济因素: 人均地区生产总值、规模以上工业生产总值. 将以上 4 类驱动力因子通过标准化公式进行栅格运算,具体公式为: $(X-\text{mean})/sd$,之后纳入 Logistic 模型进行回归分析. 模型的拟合程度可以通过对数概似率进行检验,在小于 5% 的显著水平或者小于 1% 的极显著水平下,利用自由度为 14 的卡方检定来检验模型拟合程度,各项检定均超过理论卡方值 29.14,由此可见模型中各因变量之联合解释能力均达到具有统计学意义或极具有统计学意义水平,模拟结果(表 5)可被采用^[20].

表 5 演变驱动力 Logistic 回归分析结果

解释变量		林地	农地	水体	建设用地	未利用地
常量	β	1.590	-2.621	-3.725	-2.678	-5.886
	$EXP(\beta)$	4.904	0.073	0.024	0.069	0.003
海拔高度	β	0.353	-0.378	-0.113	-0.293	-0.356
	$EXP(\beta)$	1.423	0.685	0.893	0.746	0.700
坡向	β	0.046	—	-0.067	—	-0.624
	$EXP(\beta)$	1.047	—	0.935	—	0.536
坡度	β	0.148	-0.229	-0.084	-0.032	-0.225
	$EXP(\beta)$	1.160	0.795	0.919	0.969	0.799
到林地的距离	β	-0.128	0.118	-0.079	-0.072	0.104
	$EXP(\beta)$	0.880	1.125	0.924	0.931	1.110
到农地的距离	β	0.136	-0.112	—	-0.304	—
	$EXP(\beta)$	1.146	0.894	—	0.738	—
到水体的距离	β	—	-0.132	-0.068	0.088	—
	$EXP(\beta)$	—	0.876	0.934	1.092	—
到建设用地的距离	β	0.177	—	0.091	-0.059	—
	$EXP(\beta)$	1.194	—	1.095	0.943	—

续表 5 演变驱动力 Logistic 回归分析结果

解释变量		林地	农地	水体	建设用地	未利用地
到未利用地的距离	β	—	-0.235	-0.255	—	—
	EXP(β)	—	0.791	0.775	—	—
到主要公路的距离	β	0.115	-0.209	—	—	0.149
	EXP(β)	1.122	0.811	—	—	1.161
到铁路的距离	β	-0.487	0.038	-0.542	0.384	-0.577
	EXP(β)	0.614	1.039	0.582	1.468	0.562
到城镇的距离	β	0.072	—	0.067	-0.105	-0.219
	EXP(β)	1.075	—	1.069	0.900	0.803
人口密度	β	-0.232	—	-0.292	0.625	—
	EXP(β)	0.793	—	0.747	1.868	—
人均地区生产总值	β	-0.102	-0.498	-0.713	0.331	-0.540
	EXP(β)	0.903	0.608	0.490	1.392	0.583
规模以上工业生产总产值	β	-0.201	-0.593	-0.321	0.204	-0.455
	EXP(β)	0.818	0.553	0.725	1.226	0.634
$-2\log L$		103 493.82	61 662.28	27 349.64	57 185.15	5 358.18

注：“—”表示该自变量在回归分析中变量检验超过 0.05，差异不具有统计学意义，不被纳入回归方程。

从各土地景观类型与驱动力因子的 Logistic 回归结果(表 5)分析可知, 与林地转变概率相关的驱动力因素中, 影响最大的是海拔高度, 优势比为 1.423, 影响最小的是到铁路的距离, 优势比为 0.614。这主要是因为海拔高度较高的区域林地景观受到人为干扰的影响较小, 而林地整体呈现大面积聚集的稳定状态, 这也从侧面反映出城市发展和人口增加导致林地自然景观逐渐衰减。与农地转变概率有关的驱动力因子中, 影响最大的是到林地的距离, 优势比为 1.125, 影响最小的是规模以上工业生产总产值, 优势比为 0.553。由此说明农地与人类生活有着密不可分的关系, 而距离林地较远的区域人口密度较高, 人为活动较为频繁, 因此对于农地的需求量也有所增加。分析结果中和水体转变概率相关的驱动力因子中, 影响最大的是到建设用地的距离, 优势比为 1.095, 影响最小的是人均地区 GDP, 优势比为 0.490。因为到建设用地较远的区域自然生态环境较好, 具有一定涵养水源和缓解地表径流速率的功能, 因此会在地势较为低洼处自然聚集形成水体, 增加其发生概率。与建设用地转变概率相关的驱动力因子中, 影响最大的是人口密度, 优势比为 1.868, 影响最小的是到农地的距离, 优势比为 0.738。由于研究区城市化进程加快, 常驻人口不断增加, 城市(城镇)规模随之扩大而拓展出新的建设用地, 因此人口密度较高的区域城市扩张较为明显, 导致建设用地发生概率高于其他区域。与未利用土地转变概率相关的驱动力因子中, 影响最大的是到主要公路的距离, 优势比为 1.161, 影响最小的是坡向, 优势比为 0.536。这是由于距离主要公路较远的区域交通可达性较差, 人为活动的影响受到一定限制, 用地大多保持原有未被利用的形态。

4 结 论

景观格局是由人类活动与生态环境相互作用的结果, 因此探讨区域景观格局演变及驱动机制, 可以对过去一定时期内区域资源环境状况变化有深入了解, 对于未来区域合理规划以及政策措施的制定提供理论依据和数据支持。本研究利用地理信息技术结合 Logistic 回归模型, 分析 1995-2015 年福州市土地利用景观格局演变特征和驱动机制。结果表明:

1) 通过分析类别层级的景观指数可知, 1995-2015 年间福州市土地利用结构的变化趋势主要表现为林地、农地和未利用土地减少, 而建设用地和水体增加, 其中建设用地变化最为明显; 土地利用信息熵说明 20 年间福州市土地利用有序度逐渐降低。随着城市不断扩张, 建设用地大量占用自然景观, 各项景观指数变化表明林地和农地景观在这期间正在发生破碎化现象, 同类斑块内部聚集度持续下降, 斑块形状日趋复杂; 水体则在 1995-2005 年间破碎化现象较为严重; 建设用地连接度不断加强, 斑块结构趋于紧凑, 逐

渐侵蚀相邻的异类景观;而未利用土地整体结构相对其他 4 类土地变化较大,内部斑块形状日益简单化。

2) 景观层级指数显示 20 年间福州市景观斑块分布连续性降低,空间结构发生破碎化,各类型景观分布松散,空间结构分布更加平均,整体景观异质性升高,景观类型多样化日益凸显,容易受到单一景观主导作用也相对减弱。而通过 Shannon 多样性 t 检定方法检验 3 个不同时期景观多样性变化的显著情况,结果也表明每个时期的景观多样性均呈现极显著变化,由此可见福州市在 1995-2015 年间土地利用景观格局整体变化尤为明显。

3) 参考前人研究以及基于数据可获得的基础上,利用 Logistic 回归模型对福州市土地景观格局演变驱动力进行定量分析,结果显示各土地景观类型受到重要程度不同的驱动力因素影响,林地转变主要受到地形因素影响,农地、水体和未利用土地的转变主要受到可达性因素影响,而建设用地的转变主要受到人口因素影响。

5 讨 论

土地利用景观格局演变是自然因素和社会经济因素共同作用的结果,研究期内,随着人口规模的不断增加和经济水平的快速发展,人类活动的范围显著扩大,城市化进程的加快导致土地景观格局发生巨大改变。景观格局破碎化程度日益加深,生物多样性遭到破坏,产生水污染、空气污染等生态环境问题,同时也带来一系列的社会经济损失。因此相关单位应对建设占用林地、农地等现象进行严格管控,同时增加自然景观的覆盖率,并且提供足够的野生生物活动场所,稳定和延续生态过程,同时也起到净化空气、净化水体的作用,在一定程度上缓解城市内涝等问题,合理规划土地利用结构,保证福州人与环境的生态可持续发展。

参考文献:

- [1] 任晓华,魏二虎,李 军,等. 湖北省土地资源遥感调查与评价 [J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 433-436.
- [2] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题 [J]. 地理科学, 2003, 23(3): 264-270.
- [3] 许月卿,田 媛,孙丕苓. 基于 Logistic 回归模型的张家口市土地利用变化驱动力及建设用地增加空间模拟研究 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2015, 51(5): 955-964.
- [4] 赵丽红. 南昌市景观格局时空变化及其驱动力研究 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2016.
- [5] 荣子容,马安青,王志凯,等. 基于 Logistic 的辽河口湿地景观格局变化驱动力分析 [J]. 环境科学与技术, 2012, 35(6): 193-198.
- [6] 江文焜,谢德体,王 三,等. 文化遗产保护区景观格局演变及驱动因子研究——以丽江市核心区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(3): 133-142.
- [7] 丁彤彤,周廷刚,朱晓波,等. 基于卫星遥感影像的黄河三角洲湿地景观格局动态变化研究——以东营市为例 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(4): 52-57.
- [8] MIDHA N, MATHUR P K. Assessment of Forest Fragmentation in the Conservation Priority Dudhwa Landscape, India Using FRAGSTATS Computed Class Level Metrics [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2010, 38(3): 487-500.
- [9] TURNER M G. Spatial and Temporal Analysis of Landscape Patterns [J]. Landscape Ecology, 1990, 4(1): 21-30.
- [10] VANDENHOEKJ, BURNICKI A C, OZDOGAN M, et al. Using a Pattern Metric-based Analysis to Examine the Success of Forest Policy Implementation in Southwest China [J]. Landscape Ecology, 2015, 30(6): 1111-1127.
- [11] MOKHTARI Z, SAFIANIAN A, KHAJADIN S J, et al. Quantifying the Impacts of Roads on Isfahan Landscape Pattern Using Gradient Analysis and Landscape Metrics Methods [J]. Gegcherches Geographiques Geographical Research, 2012.
- [12] 陈 颐,林毅伟,朱志鹏,等. 基于 RS 和 GIS 的莆田市土地利用景观格局变化分析 [J]. 西北林学院学报, 2017, 32(1): 279-286.
- [13] 张新平,张芳芳,王得祥. 2010-2016 年国内外景观研究文献计量与可视化分析 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(7): 148-156.
- [14] 郑新奇,付梅臣. 景观格局空间分析技术及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [15] GUSTAFSON E J. Minireview: Quantifying Landscape Spatial Pattern: What is the State of the Art? [J]. Ecosystems, 1998, 1(2): 143-156.

- [16] MCGARIGAL K, MARKS B J. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure [R]. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. DOI: 10. 2737/pnw-gtr-351.
- [17] 李娜, 谢德体, 王三. 基于区域分化下重庆市土地利用结构效率评价——综合运用信息熵和 Malmquist 指数 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(6): 115-123.
- [18] 宋敏敏, 张青峰, 吴发启, 等. 黄土沟壑区小流域景观格局演变及生态服务价值响应 [J]. 生态学报, 2018, 38(8): 2649-2659.
- [19] MAGURRAN A E. Diversity Indices and Species Abundance Models [J]. 1988: 7-45.
- [20] CHEN Meiqiu, XIAO Heliang, HE Weijia, 等. An Empirical Study on Factors Affecting the Households' Behavior in Cultivated Land Transfer 耕地流转农户行为影响因素的实证分析——基于江西省 1 396 户农户耕地流转行为现状的调研 [J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 369-374.
- [21] JIANG G H, ZHANG F R, CHEN J W, et al. Analysis of the Driving Forces of Change of Rural Residential Areas in Beijing Mountainous Areas Based on Logistic Regression Model [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 81-87.
- [22] 姜楠, 贾宝全, 宋宜昊. 基于 Logistic 回归模型的北京市耕地变化驱动力分析 [J]. 干旱区研究, 2017, 34(6): 1402-1409.
- [23] 孙才志, 闫晓露. 基于 GIS-Logistic 耦合模型的下辽河平原景观格局变化驱动机制分析 [J]. 生态学报, 2014, 34(24): 7280-7292.
- [24] 陈颀, 林毅伟, 林丽丽, 等. 基于 Markov 和 Logistic 模型的莆田市土地利用变化及林地转出空间模拟 [J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(2): 87-97.
- [25] 李建林, 陈瑜琦, 江清霞, 等. 中国耕地破碎化的原因及其对策研究 [J]. 农业经济, 2006(6): 21-23.

On Landuse Landscape Pattern Change and Driving Forces in Fuzhou

CHEN Zhu¹, FU Wei-cong^{1,2}, HUANG Yu-lin¹,
QUE Chen-xi¹, ZHENG Qi-quan³, DONG Jian-wen¹

1. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University College, Fuzhou 350002, China;

2. Collaborative for Advanced Landscape Planning, University of British Columbia Vancouver V6T 1Z4;

3. College of environmental design, Chinese Culture University, Taipei 11149, China

Abstract: Based on the interpretation data of remote sensing images of Fuzhou in 1995, 2005 and 2015, and natural and socio-economic statistics, studies have been done with landscape index, Shannon's t-test, land-use information entropy and other methods, combined with Logistic regression model analysis of the dynamic changes and driving mechanisms of landuse landscape pattern in Fuzhou during the 20 years. The results show that, 1) In the past 20 years, the area of forestland, farmland and unused land in Fuzhou City has shown a decreasing trend, while the construction land and water area had continued to rise; a large number of construction land sites erode forestland and farmland, and the degree of aggregation of natural landscapes has declined, the degree of fragmentation had become increasingly serious. 2) The spatial structure of the overall landscape pattern of the region was more evenly distributed, and the landscape diversity was gradually increasing. In the three periods, the landscape pattern diversity of Fuzhou has changed significantly. (3) The Logistic regression model analysis results show that the forestland transformation probability was mainly affected by topographic factors, and the transformation probability of farmland, water and unused land was mainly affected by accessibility factors. The transformation probability of construction land was mainly affected by population factors.

Key words: landuse; landscape pattern; landscape index; Shannon's t-test; Logistic regression model