

南昌市生态服务价值变化及其驱动因素分析

冉凤维^{1,2}, 罗志军^{1,2}, 曹丽萍^{1,2}, 赵杰^{1,2}, 赵越^{1,2}

(1. 江西农业大学 国土资源与环境学院, 南昌 330045;

2. 江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 南昌 330045)

摘要:理解和把握区域生态服务价值的变化规律最有效的手段是对其自身变化及驱动因素进行研究。以南昌市为例,依据 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 4 期的遥感影像,运用 RS 和 GIS 技术对其处理获得了各期土地利用数据,然后通过修订研究区不同土地利用类型生态服务价值系数,对近 15 年南昌市生态服务价值时空变化特征进行研究,并利用 STIRPAT 模型和地理加权回归分析了生态服务价值变化的驱动因素及差异性。结果表明:近 15 年南昌市生态服务价值变化不大,其总量由 2000 年的 390.35 亿元增加到 2015 年的 393.30 亿元;2000—2015 年高生态服务价值区主要分布在新建县东部和进贤县北部,低生态服务价值区主要分布在南昌市城区;生态服务价值主要驱动因素为总人口、第三产业比重和万元 GDP 能耗,且都与人均 ESV 呈负相关关系;不同时期生态服务价值的驱动因素不同,同一驱动因素在不同时期的弹性系数不同,所承受的压力不同,而南昌市各县区驱动因素的影响程度和承受压力也不同。

关键词:生态服务价值;时空特征;驱动因素;STIRPAT 模型;南昌市

中图分类号:F301;Q146

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)03-0177-07

Analysis on the Change of Ecological Service Value and Its Driving Factors in Nanchang

RAN Fengwei^{1,2}, LUO Zhijun^{1,2}, CAO Liping^{1,2}, ZHAO Jie^{1,2}, ZHAO Yue^{1,2}

(1. College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China;

2. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Poyang Lake Basin Agricultural Resources and Ecology, Nanchang 330045, China)

Abstract: The most effective way to understand the change of regional ecological service value is to study its change and driving factors. Nanchang City was taken as an example. RS and GIS techniques were used to obtain land use data according to the remote sensing images of 2000, 2005, 2010 and 2015. Then, the spatial and temporal characteristics of ecological service values in recent 15 years were studied by revising the ecological service value coefficients of different land use types in the study area. The driving factors and the differences of ecological service values were analyzed by STIRPAT model and geo-weighted regression model. The results show that: in the past 15 years, the ecological service values in Nanchang had changed little, and the total had increased from 3.9035×10^{10} yuan in 2000 to 3.9330×10^{10} yuan in 2015; the high ecological service value areas mainly distributed in the east of Xinjian County and north of Jinxian County, while the low section mainly distributed in the center of Nanchang. The major driving factors of ecological service value (ESV) change are the total population, the proportion of the third industry and the total energy consumption per capita which have a negative correlation with the per capita ESV. There were own driving factors of ESV in different periods, and each factor had its own influence. By analyzing the driving factors of the ecological service value of each district, the influences and born pressures of the driving factors in different regions of Nanchang were different.

Keywords: ecological service value; spatial-temporal characteristics; driving factors; STIRPAT model; Nanchang

生态系统服务是人类维持生存的前提与基础,是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然效用^[1]。生态服务价值主要是人类从生态系统中直接或间接地获得利益,包括向经济社会系统输入有用物质和能量、接受和转化来自经济社会系统的废弃物,及直接向人类社会成员提供服务^[2]。Costanza 等^[3]最先估算了全球生态服务价值,在他的基础上,很多学者对 ESV 进行了不同程度的研究。傅伯杰等^[4]较为详细地论述了生态系统服务价值的概念,谢高地等^[5-6]在 Costanza 等的研究方法的基础上进行多次改进,最终算出适合我国国情的 ESV 当量系数。目前很多学者研究了由于土地利用/覆被变化引起的生态系统服务价值变化^[7-10],这些研究均表明以土地利用结构为指标来对 ESV 进行评估是可行且可靠的。师庆三等^[11]、岳东霞等^[12]、唐秀美等^[13]、孙晨等^[14]学者对生态服务价值变化的驱动因素进行了研究,同时孙洪波等^[15]将分析环境影响因素的 STIRPAT 模型^[16-17]用于分析生态服务价值变化的驱动因素。已有研究对 ESV 的时空格局演变分析日益完善,但对其变化的原因分析尚显不足,而这方面的研究对揭示 ESV 的时空分布特征和变化规律具有重要意义。

南昌市是我国首批低碳试点城市,也是鄱阳湖生态经济区的核心城市。近 10 a 来是中国城市化快速推进的时期,也是江西省实施中部地区崛起规划、鄱阳湖生态经济区规划、赣南等原中央苏区振兴发展等国家区域发展战略的时期,随着南昌市社会经济的快速发展和城市化进程的加快推进,其土地利用的广度、深度及速度都发生了改变^[18],同时与土地利用密切相关的生态服务价值随之发生改变。为此,本文借助 RS 和 GIS 技术,对 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年遥感影像进行处理和分析,以获得各期土地利用数据,然后通过修订研究区生态服务价值系数,分析南昌市生态服务价值时空变化特征,最后用 STIRPAT 模型和地理加权回归模型研究南昌市生态服务价值驱动因素及差异性,为区域生态环境保护和可持续发展提供参考。

1 研究区概况

南昌市是江西省的省会,位于 115°27′—116°35′E, 28°09′—29°11′N,地处江西省中北部,赣江尾间,抚河下游,鄱阳湖之滨,是长江中游城市群中心城市之一,是鄱阳湖生态经济区核心城市,是生态文明先行示范区,是国家级新区赣江新区中心城市,是全国首批低碳试点城市,中国重要的综合交通枢纽和现代制造业基地。境内以平原为主,东南较平坦,西北丘陵起伏,

水网密布,湖泊众多。境内气候为亚热带季风气候,是“夏炎冬寒”的典型城市,夏冬两季时间较长、温差大,年降水量 2 059.8 mm。南昌市下辖 5 区 4 县,分别是东湖区、西湖区、青云谱区、青山湖区、湾里区、新建县、南昌县、进贤县、安义县。截至 2016 年底,全市土地总面积 7 412.52 km²,占全省 4.31%,全市总人口为 537.14 万人,比上年末增加 6.85 万人。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文的遥感数据选用南昌市 2000 年、2005 年、2010 年的 Landsat/ETM 数据和 2015 年的 Landsat/OLI 数据,空间分辨率均为 30 m,数据均来源于美国地质调查局(USGS 官网:<http://landsat.usgs.gov/>)。遥感数据处理时,首先借助 Erdas 9.2 软件对遥感数据进行几何校正、图像拼接、图像裁剪和图像增强等预处理;然后进行人工目视解译,对四期遥感影像进行解译,利用 ArcGIS 10.2 软件的空间分析功能和属性数据统计功能,得到各时期南昌市土地利用类型图;再依据国家标准化管理委员会颁布的《土地利用现状分类》(GB/T2010—2007),结合南昌市土地资源的特点和实际情况,将土地分类进行合并,得到 6 大类土地利用类型:耕地、园林地、草地、建设用地、水域和未利用地(表 1)。同时利用政府提供的土地利用变更数据对 2000 年和 2005 年解译结果进行评定、修正,利用 2010 年和 2015 年二调数据对 2010 年和 2015 年数据精度进行验证。此外,文中驱动因素指标数据均来源于 2000—2015 年的《江西省统计年鉴》和《南昌市统计年鉴》。

2.2 研究方法

2.2.1 生态服务价值的计算 谢高地等在 Costanza 研究模型的基础上,研究得出“中国生态系统服务价值当量因子表”^[19],并确定 1 个生态服务价值当量因子的经济价值量等于当年全国平均粮食单产市场价值的 1/7。本文根据 2000—2015 年南昌市平均粮食单产 5 995.5 kg/hm² 与 2015 年粮食平均单价 3.95 元/kg,结合生态价值的区域修正系数^[20],计算出南昌市 1 个生态服务价值当量因子的经济价值为 3 383.17 元。依据南昌市具体情况,把每种土地利用类型与最接近的生态系统类型结合,可确定南昌市不同土地利用类型单位面积的生态服务价值(表 2)。其中,本文对建设用地的生态服务价值不进行估算,故文中建设用地的生态服务价值为 0^[19-21]。

计算生态服务价值公式为:

$$ESV = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij} \times VC_{ij} \quad (1)$$

式中:ESV 为研究区生态系统服务价值; A_i 为第 i 种土地利用类型的面积; VC_{ij} 为第 i 种土地利用类型第 j 种生态系统服务价值的系数, i 为土地利用类型, j 为生态系统服务功能的类型。

表 1 2000—2015 年南昌市地类面积及所占比重

地类	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
耕地	368359.80	49.69	358477.68	48.36	338781.10	45.70	318116.22	42.92
园林地	121999.10	16.46	130209.30	17.57	129225.43	17.43	127421.98	17.19
草地	9660.30	1.30	9632.81	1.30	9587.54	1.29	9563.21	1.29
建设用地	68947.19	9.30	79117.19	10.67	99381.95	13.41	115116.04	15.53
水域	136004.46	18.35	135133.76	18.23	135782.97	18.32	142968.97	19.29
未利用地	36280.65	4.89	28680.76	3.87	28492.51	3.84	28065.08	3.79
合计	741251.50	100.00	741251.50	100.00	741251.50	100.00	741251.50	100.00

表 2 南昌市不同土地利用类型单位面积生态服务价值

生态服务	生态服务价值/(元·hm ⁻²)					
	耕地	园林地	草地	水域	未利用地	合计
气体调节	1689.97	11830.54	2704.18	0.00	0.00	16224.69
气候调节	3008.25	9126.36	3042.25	1554.74	0.00	16731.60
水源涵养	2028.04	10816.33	2704.18	68886.82	101.23	84536.60
土壤形成与保护	4935.06	13182.44	6591.41	33.62	67.61	24810.14
废物处理	5543.58	4428.14	4428.14	61450.81	33.62	75884.30
生物多样性保护	2399.72	11019.17	3684.39	8416.61	1149.06	26668.95
食物生产	3380.32	338.07	1014.21	338.07	33.62	5104.28
原材料	338.07	8788.29	168.84	33.62	0.00	9328.82
娱乐文化	33.62	4326.53	135.23	14669.56	33.62	19198.56
合计	23356.63	73855.88	24472.83	155383.85	1418.75	278487.93

2.2.2 生态服务价值转移公式 土地利用类型变化会引起相应地类生态服务价值是变化^[22],根据南昌市土地利用转移计算 ESV 的转移,计算公式为:

$$PL_{ij} = (VC_i - VC_j) \times A_{ij} \tag{2}$$

式中:PL_{ij}为研究期内第*i*类土地向第*j*类转化的生态服务价值;*i*为第一时期土地利用类型;*j*为第二时期土地利用类型;VC_i和 VC_j分别为研究期*i*和*j*的生态服务价值系数;*A_{ij}*为研究期内第*i*类土地向第*j*类转化的面积。

2.2.3 STIRPAT 模型 STIRPAT 模型是 Dietz 和 Rosa^[23]在 IPAT 模型的基础上对随机回归影响模型的重新定义,该模型可模拟变量对环境的影响。STIRPAT 模型表达式为:

$$I = aP^bA^cT^de \tag{3}$$

式中:*I*表示环境压力;*P*表示人口数量;*A*表示富裕度;*T*表示技术水平;*a*为常系数;*e*为模型误差;*b*,*c*,*d*为弹性系数 STIRPAT 模型是一个非线性多变量模型,对等式两边同时取对数可得:

$$\ln I = \ln a + b(\ln P) + c(\ln A) + d(\ln T) + \ln e \tag{4}$$

本文在生态服务价值变化的驱动因素选择上,参考前人^[16,24]基于 STIRPAT 模型的分析,选取南昌市以下社会经济发展指标:总人口(*P*)、人均 GDP(*A*₁)、固定资产投资(*A*₂)、城市化率(*T*₁)、第二产业比重(*T*₂)、第三产业比重(*T*₃)、万元 GDP 能耗(*T*₄),环境压力用人均 ESV (*E*)表示。因此,STIRPAT 模型扩展为:

$$\begin{aligned} \ln E = & \ln a + b(\ln P) + c_1(\ln A_1) + c_2(\ln A_2) + d_1 \\ & (\ln T_1) + d_2(\ln T_2) + d_3(\ln T_3) + d_4(\ln T_4) \\ & + \ln e \end{aligned} \tag{5}$$

3 南昌市生态服务价值变化

3.1 生态服务价值时间变化分析

以 2000—2015 年南昌市遥感解译的土地利用数据为基础,根据计算生态服务价值公式及表 2 的数据,可知 2000—2015 年南昌市生态服务价值及其变化和各单项生态服务价值,即表 3,表 4.由表 3 可知,不同土地利用类型的生态服务价值按大小排序为水域、园林地、耕地、草地和未利用地,研究期内水域 ESV 与总 ESV 之比大于 50%。南昌市 2000 年、2005 年、2010 年、

2015 年总生态服务价值分别为 390.35 亿元、392.64 亿元、388.30 亿元、393.30 亿元。15 a 来,生态服务价值总量增加 2.95 亿元,变化率为 0.01%,其中生态服务价值在各子研究期内先增加后减少再增加,2000—2005 年增加量为 2.29 亿元,2005—2010 年减少量为 4.33 亿元,2010—2015 年增加 5.00 亿元。土地利用类型生态服务价值变化最大的是耕地,减少 11.74 亿元,其次是水域,增加 10.82 亿元。

根据 2000—2015 年南昌市单项生态服务价值及其变化(表 4)可知,研究期内,南昌市各单项生态服务价值总量及结构均变化不大。单项生态服务价值功能以水源涵养和废物处理为主,土壤形成与保护和生物多样性保护为辅,然后依次为娱乐文化、气候调

节、气体调节、食物生产、原材料。生态服务价值减少的功能有气候调节、气体调节、土壤形成与保护、生物多样性保护和食物生产,其中食物生产的变化率最大。水源涵养、废物处理、原材料、娱乐文化的生态服务价值增加,其中水源涵养的变化相对较为显著。研究期 2000—2005 年内,气候调节、气体调节、水源涵养、土壤形成与保护、娱乐文化、原材料、生物多样性保护的生态服务价值增加,其中原材料的变化率最大,气体调节次之;在 2005—2010 年期间,除娱乐文化这一项生态服务价值外,其他单项 ESV 价值量均增加;在 2010—2015 年期间,水源涵养、废物处理、娱乐文化的生态服务价值量增加,其余单项 ESV 减少,其中水源涵养和废物处理变化最显著。

表 3 2000—2015 年南昌市生态服务价值及变化

地类	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2000—2005 年		2005—2010 年		2010—2015 年		2000—2015 年	
	ESV/亿元	ESV/亿元	ESV/亿元	ESV/亿元	变化量/亿元	变化率	变化量/亿元	变化率	变化量/亿元	变化率	变化量/亿元	变化率
耕地	86.04	83.73	79.13	74.30	-2.31	-0.03	-4.60	-0.05	-4.83	-0.06	-11.74	-0.14
园林地	90.10	96.17	95.44	94.11	6.06	0.07	-0.73	-0.01	-1.33	-0.01	4.01	0.04
草地	2.36	2.36	2.35	2.34	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.02	-0.01
水域	211.33	209.98	210.98	222.15	-1.35	-0.01	1.01	0.00	11.17	0.05	10.82	0.05
未利用地	0.51	0.41	0.40	0.40	-0.11	-0.21	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.12	-0.23
合计	390.35	392.64	388.30	393.30	2.29	0.01	-4.33	-0.01	5.00	0.01	2.95	0.01

表 4 2000—2015 年南昌市单项生态服务价值及变化

生态服务 功能	ESV/亿元				变化量/亿元				变化率/%			
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2000—2015 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2000—2015 年
气体调节	20.92	21.72	21.27	20.71	0.80	-0.45	-0.56	-0.21	0.04	-0.02	-0.03	-0.01
气候调节	24.62	25.06	24.39	23.71	0.44	-0.67	-0.68	-0.91	0.02	-0.03	-0.03	-0.04
水源涵养	114.65	114.73	114.67	119.01	0.08	-0.06	4.33	4.35	0.00	0.00	0.04	0.04
土壤形成与保护	34.97	35.56	34.45	33.19	0.59	-1.10	-1.26	-1.77	0.02	-0.03	-0.04	-0.05
废物处理	109.84	109.12	108.38	111.57	-0.72	-0.74	3.19	1.73	-0.01	-0.01	0.03	0.02
生物多样性保护	34.50	35.01	34.48	34.38	0.51	-0.53	-0.10	-0.12	0.01	-0.02	0.00	0.00
食物生产	13.43	13.12	12.45	11.77	-0.31	-0.67	-0.68	-1.66	-0.02	-0.05	-0.05	-0.14
原材料	12.03	12.72	12.56	12.34	0.69	-0.15	-0.23	0.31	0.06	-0.01	-0.02	0.03
娱乐文化	25.38	25.60	25.65	26.62	0.22	0.05	0.97	1.24	0.01	0.00	0.04	0.05

3.2 生态服务价值空间差异分析

在 ArcGIS 10.2 软件上按手动分类法将南昌市单位面积生态服务价值分为 4 个等级,得出 4 个时期南昌市单位面积生态服务价值空间特征,生态服务价值高于 74 000 元/hm² 的地区主要是新建县东部和进贤县北部,其中 2010 年新建县生态服务价值高于 74 000 元/hm² 的地区明显扩大,其原因是水域面积增加,同时水域的 ESV 系数较高;生态服务价值介于 25 000~74 000 元/hm² 的主要是湾里区、安义县北部、新建县西部及进贤县东南部;生态服务价值 1 500~25 000 元/hm² 分布范围广泛,主要在南昌县、新建县西部、安义县南部、新建县东部;而低于 1 500

元/hm² 的低生态服务价值区主要集中在南昌市区,2005—2010 年低生态服务价值区扩张明显,原因是建设用地的快速增长。

3.3 生态服务价值转移分析

由公式(2)可得 2000—2015 年南昌市生态服务价值转移情况(表 5)。

由表 5 可知,2000—2015 年,土地利用类型之间的转移导致南昌市生态服务价值总量增加 2.95 亿元。但每一种土地利用类型向其他土地利用类型转移所造成的生态服务价值变化不同,水域向其他土地利用类型的转移导致了 ESV 减少 62.16 亿元,其中水域转为耕地生态服务价值减少最多,占比 65.04%;园林地转为非园林

地也导致了 ESV 减少 21.07 亿元;耕地向其他地类的转移,引起了生态服务价值的增加,增加量为 43.13 亿元,草地、建设用地和未利用地向其他地类的转移也引起了生态服务价值的增加。

表 5 2000—2015 年南昌市生态服务价值转移矩阵 10⁸ 元

2000—2015 年	耕地	园林地	草地	建设用地	水域	未利用地	合计
耕地	0.00	−14.43	−0.03	4.96	−40.43	0.05	−49.88
园林地	18.35	0.00	2.59	0.69	−3.25	0.04	18.42
草地	0.04	−1.40	0.00	0.04	−1.88	0.14	−3.06
建设用地	−12.71	−6.24	−0.12	0.00	−15.02	0.00	−34.10
水域	39.42	1.01	0.87	7.36	0.00	26.48	75.15
未利用地	−1.97	−0.01	0.00	0.00	−1.59	0.00	−3.57
合计	43.13	−21.07	3.31	13.04	−62.16	26.70	2.95

4 南昌市生态服务价值变化驱动因素分析

4.1 总体驱动因素分析

4.1.1 STIRPAT 模型回归分析 将南昌市 2000—2015 年所选取的社会经济指标数据及人均 ESV 数据均取对数,根据式(5),利用 SPSS 22.0 软件按自变量逐步进入方程的方法进行回归分析,构建南昌市人均 ESV 变化的 STIRPAT 方程,见表 6。

各模型的调整 R^2 介于 0.995~0.998,说明各模型的拟合度较好。模型 1 是以 $\ln P$ 为自变量的 STIRPAT 方程,该模型可以解释所选变量对生态服务价值的影响,其拟合度为 99.5%,在 0.001 的显著性水平下存在极显著影响;模型 2,3,4 是在模型 1 的

基础上分别加入自变量 $\ln T_3, \ln T_4, \ln A_1$,调整 R^2 分别为 0.997,0.997,0.996,表明相对于模型 1,模型 2,3,4 对因变量的解释能力提高,且 $\ln T_3$ 和 $\ln A_1$ 在 0.05 的显著性水平下对 $\ln E$ 存在显著影响, $\ln T_4$ 在显著性水平为 0.01 时对 $\ln E$ 影响显著;模型 5 在模型 4 的基础上增加变量 $\ln A_2$ 和 $\ln T_1$,此时 $\ln A_1, \ln A_2$ 对 $\ln E$ 影响不显著($\text{Sig}>0.05$), $\ln T_1$ 对 $\ln E$ 影响显著($\text{Sig}<0.05$);模型 6 分析了 $\ln P, \ln T_3, \ln T_4$ 对 $\ln E$ 的影响,该模型拟合度达 99.8%,3 个自变量分别在 0.001,0.05,0.01 的显著性水平下对自变量产生显著影响。因此,对 $\ln E$ 产生显著影响的自变量有 $\ln P, \ln T_3$ 与 $\ln T_4$,即这些因素为人均 ESV 变化的主要驱动因素,而 $\ln A_1, \ln A_2, \ln T_1, \ln T_2$ 对因变量影响不显著。

表 6 STIRPAT 模型分析

模型	常数	$\ln P$	$\ln A_1$	$\ln A_2$	$\ln T_1$	$\ln T_2$	$\ln T_3$	$\ln T_4$	F 统计量	调整 R^2	D-W 统计量	样本量
模型 1	24.466	−0.998***							3104.701	0.995	0.59	16
模型 2	24.041	−0.984***					−0.048*		2306.749	0.997	0.852	16
模型 3	23.212	−0.916***						−0.094**	2820.267	0.997	1.451	16
模型 4	23.158	−0.909***	−0.960*						2009.452	0.996	0.792	16
模型 5	23.230	−0.912***	−0.336	−0.204	−0.520*				1373.646	0.997	1.883	16
模型 6	23.158	−0.923***					−0.031*	−0.076**	2585.677	0.998	1.666	16

注: * Sig. <0.05; ** Sig. <0.01; *** Sig. <0.001。

4.1.2 驱动因素差异性分析 从模型 6 看,南昌市 2000—2015 年人均生态服务价值变化的驱动因素为总人口、第三产业比重和万元 GDP 能耗,且 3 个自变量都与因变量人均 ESV 呈负相关关系。各自变量的弹性系数表明,3 个因素对人均 ESV 的影响力依次为:总人口影响最大,万元 GDP 能耗次之,第三产业比重最小。总人口每增加 1%,人均 ESV 减少 0.923%;第三产业比重每增加 1%,人均 ESV 减少 0.031%;万元 GDP 能耗每增加 1%,会引起人均 ESV 减少 0.076%。

4.2 不同时期驱动因素分析

以 STIRPAT 模型为依据对研究区不同时段生

态服务价值的驱动因素进行分析,利用 SPSS 软件建立的模型如下:

2000—2005 年 STIRPAT 模型:

$$\ln E = 21.871 - 1.453 \ln P + 0.039 \ln A_1 - 0.033 \ln T_3 - 0.048 \ln T_4 \tag{6}$$

方程(6)通过了 0.01 显著性水平的检验,其调整 $R^2 = 0.976$,说明该方程拟合度好, $D-W$ 值 = 2.170 < 10,说明进入方程的各变量之间不存在多重共线性问题,各自变量的显著性水平分别为 0.001, 0.05, 0.05, 0.01。

2005—2010 年 STIRPAT 模型:

$$\ln E=10.106-1.078 \ln A_1-0.088 \ln T_3-0.096 T_4 \quad (7)$$

方程(7)通过了0.01显著性水平的检验,其调整 $R^2=0.998$,说明该方程拟合度好, $D-W$ 值 $=2.422<10$,说明进入方程的各变量之间不存在多重共线性问题,各自变量的显著性水平分别为0.001,0.01,0.05。

2010—2015 年 STIRPAT 模型:

$$\ln E=19.918-0.994 \ln P-2.77 \ln T_1-0.079 \ln T_3-0.061 \ln T_4 \quad (8)$$

方程(8)通过了0.01显著性水平的检验,其调整 $R^2=0.985$,说明该方程拟合度好, $D-W$ 值 $=2.840<10$,说明进入方程的各变量之间不存在多重共线性问题,各自变量的显著性水平分别为0.001,0.05,0.01,0.05。

由方程(6)、(7)、(8)可以得出:不同时期生态服务价值的驱动因素不同,同一驱动因素在不同时期的弹性系数不同,所承受的压力不同。研究期2000—2005年人均ESV的驱动因素为人口、人均GDP、第三产业比重和万元GDP能耗;研究期2005—2010年人均ESV的影响因素为人均GDP、第三产业比重和万元GDP能耗;研究期2010—2015年人均ESV的驱动因素为人口、城市化率、第三产业比重和万元GDP能耗。在2000—2005年与2011—2015年,总人口的弹性系数为1.453,0.994,说明在人口方面,研究期2000—2005年承受了比2010—2015年更大的压力;3个时期第三产业比重的弹性系数均为负值,依次为0.033,0.088,0.079,表明研究期2005—2010年承受了更多来自第三产业的压力;3个时期万元GDP能耗的弹性系数均为负值,依次为0.048,0.096,0.061,说明较其他两个研究期来说,研究期2005—2010年在万元GDP能耗上承受了更多的压力。

4.3 不同区域驱动因素分析

由于STIRPAT模型分析在揭示县域生态服务价值的驱动因素上存在局限,因此,本文以表6的模型6为依据,运用ArcGIS 10.2软件对模型6进行地理加权回归分析,建立基于地理加权回归分析的STIRPAT模型(表7),GWR分析所得方程拟合度为87.4%,表明回归方程对因变量的解释能力较好,同时,方程通过了0.01显著性水平检验。由表7可知,从总人口对各县区的影响力看,所有县区总人口的弹性系数都为负值,表明人口增加会造成各县区生态服务价值减少;第三产业驱动因素方面,东湖区、西湖区、青云谱区和青山湖区的第三产业比重的弹性系数为负值,其他县区第三产业弹性系数为正值,说明

在这些地区经济的增加会带来人均生态服务价值的增加;万元GDP能耗方面,各县区万元GDP能耗的弹性系数均为负值,表明在各县区万元GDP能耗的增加均会引起人均生态服务价值的减少。弹性系数可以解释变量承受压力,弹性系数大,变量所承受的压力大,反之,变量所承受的压力小。人口驱动因素方面,东湖区、西湖区、青山湖区和安义县的弹性系数比总人口弹性系数的均值大,说明这些县区承受了来自人口方面更大的压力;从第三产业比重看,东湖区、青山湖区、南昌县、新建县及进贤县的弹性系数大于均值,则相应区域在第三产业比重上承受了更多的压力;万元GDP能耗方面,南昌县、进贤县和安义县的弹性系数大于均值0.075,说明这些县区在万元GDP能耗方面承受了比其他县区更多的压力。

表 7 STIRPAT 模型的 GWR 分析

行政区	系数截距	lnP	lnT ₃	lnT ₄	标准误差	标准残差
东湖区	23.246	-0.932	-0.041	-0.091	1.067	-0.248
西湖区	23.057	-0.934	-0.025	-0.074	1.199	-0.327
青云谱区	23.144	-0.925	-0.021	-0.071	1.167	0.711
青山湖区	23.379	-0.962	-0.034	-0.086	1.302	-1.959
湾里区	23.018	-0.916	0.029	-0.066	1.399	1.496
南昌县	23.069	-0.927	0.042	-0.069	1.294	0.207
新建县	23.107	-0.907	0.038	-0.067	1.058	-0.726
进贤县	23.213	-0.918	0.035	-0.083	1.37	0.814
安义县	23.118	-0.933	0.027	-0.072	1.351	-0.263

5 结 论

(1) 本文参照前人研究成果,依据生态服务价值当量因子法分析了2000—2015年南昌市生态服务价值时空变化特征,并利用STIRPAT模型和地理加权回归分析法对南昌市生态服务价值变化的驱动因素及差异性进行分析,为区域环境保护与生态系统管理提供科学依据,对促进区域经济、社会与生态的协调发展具有重要意义。

(2) 研究表明,2000—2015年南昌市生态服务价值总量及结构均变化不大,各子研究期内生态服务价值变化呈“S”型,即先增加后减少再增加;不同土地利用类型生态服务价值由大到小为水域、园林地、耕地、草地和未利用地;2000—2015年高生态服务价值区集中新建县东部和进贤县北部,该区土地利用类型为水域,低生态服务价值区主要是在南昌市城区,土地利用类型以建设用地为主。

(3) 通过STIRPAT模型分析表明,总人口、第三产业比重与万元GDP能耗是南昌市人均ESV变

化的主要驱动因素,且都与人均ESV呈负相关关系。不同时期生态服务价值的驱动因素不同,同一驱动因素在不同时期的弹性系数不同,所承受的压力不同。通过地理加权回归分析发现,各县区之间驱动因素影响程度不同,东湖区、西湖区、青山湖区和安义县在人口因素上承受了更多的压力;东湖区、青山湖区、南昌县、新建县及进贤县承受了更多第三产业比重的压力;而南昌县、进贤县和安义县在万元GDP能耗方面承受了比其他县区更多的压力。

(4) 区域生态服务价值变化受到诸多因素的共同作用,由于资料和方法的局限性,本文生态服务价值变化驱动因素考虑得不够全面,如人均公共绿地面积、生态用地比率等因素,今后仍需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Daily G C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[J]. *Corporate Environmental Strategy*, 2000,6(2):220-221.
- [2] 邵雪亚,刘勇,王三,等.快速城市化地区土地利用变化对生态服务价值的影响:以重庆市北碚区为例[J]. *西南师范大学学报自然科学版*,2011,33(6):80-85.
- [3] Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *World Environment*, 1997,25(1):3-15.
- [4] 傅伯杰,张立伟.土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J]. *地理科学进展*,2014,33(4):441-446.
- [5] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. *自然资源学报*,2008,23(5):911-919.
- [6] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. *自然资源学报*,2015(8):1243-1254.
- [7] Gascoigne W R, Hoag D, Koontz L, et al. Valuing ecosystem and economic services across land-use scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA[J]. *Ecological Economics*, 2011,70(10):1715-1725.
- [8] 刘桂林,张落成,张倩.长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. *生态学报*,2014,34(12):3311-3319.
- [9] 张舟,吴次芳,谭荣.生态系统服务价值在土地利用变化研究中的应用:瓶颈和展望[J]. *应用生态学报*,2013,24(2):556-562.
- [10] 曾杰,李江凤,姚小薇.武汉城市圈生态系统服务价值时空变化特征[J]. *应用生态学报*,2014,25(3):883-891.
- [11] 师庆三,王智,吴友均,等.新疆生态系统服务价值测算与NPP的相关性分析[J]. *干旱区地理*,2010,33(3):427-433.
- [12] 岳东霞,杜军,巩杰,等.民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析[J]. *生态学报*,2011,31(9):2567-2575.
- [13] 唐秀美,郝星耀,刘玉,等.生态系统服务价值驱动因素与空间异质性分析[J]. *农业机械学报*,2016(5):336-342.
- [14] 孙晨.土地利用变化的人文驱动因子对和田市生态系统服务价值的影响[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2014.
- [15] 孙洪波,杨桂山,万容容,等.昆山生态系统服务价值变化及其驱动力差异性分析[J]. *长江流域资源与环境*,2009,18(8):759-764.
- [16] 陈志建,王铮.中国地方政府碳减排压力驱动因素的省际差异:基于STIRPAT模型[J]. *资源科学*,2012,34(4):718-724.
- [17] 陈庆,周敬宣,李湘梅,等.基于STIRPAT模型的武汉市环境影响驱动力分析[J]. *长江流域资源与环境*,2011(S1):100-104.
- [18] 赵丽红,王屏,欧阳勋志,等.南昌市植被覆盖度时空演变及其对非气候因素的响应[J]. *生态学报*,2016,36(12):3723-3733.
- [19] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J]. *自然资源学报*,2003,18(2):189-195.
- [20] 谢高地,肖玉,甄霖,等.我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. *中国生态农业学报*,2005,13(3):10-13.
- [21] 胡金龙,王金叶,周志翔,等.桂林市区土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. *中南林业科技大学学报*,2012,32(10):89-93.
- [22] Peng W F, Zhou J M, Fan S Y. Effects of the Land Use Change on Ecosystem Service Value in Chengdu, Western China from 1978 to 2010[J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2016,44(2):197-206.
- [23] Dietz T, Rosa E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology[J]. *Human Ecology Review* 1,1994,2:277-300.
- [24] Wang P, Wang X. Spatiotemporal change of ecological footprint and sustainability analysis for Yangtze Delta Region[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2011,21(5):859-868.