

基于 GTWR 模型的长江经济带生态系统服务价值 对城镇扩张的时空响应

周晓艳, 王诗琪

(武汉大学 资源与环境科学学院, 武汉 430079)

摘 要:为了探究城镇扩张对生态系统服务价值的影响,采用热点分析法和时空地理加权回归模型(GTWR),对长江经济带城镇扩张强度与生态系统服务价值量的时空演变格局及其关联进行了分析。结果表明:(1) 15 a 间,长江经济带的年均城镇扩张强度约为 0.02%,城镇扩张的热点区从下游长三角地区的东南部向长三角的中部和北部转移,并逐渐覆盖长三角的大部分地区。(2) 2000—2015 年长江经济带生态系统服务的总价值量下降了 0.27%,其中供给服务、调节服务、支持服务和总服务价值量下降的热点区均集中在下游长三角地区,而文化服务价值量下降的热点区则分布在浙江省与江西省部分地区。(3) 城镇扩张进程对长江经济带的文化服务价值的影响不显著,但对大部分地区生态系统的供给服务、调节服务、支持服务和总服务的价值量均产生显著的负面影响。城镇扩张对各类生态系统服务价值的负面影响具有时空异质性的特征,在进行长江经济带生态保护工作中应该采用差异化管理模式。

关键词:城镇扩张;生态系统服务价值;热点分析;时空地理加权回归;长江经济带

中图分类号:F301.2; F062.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)04-0300-08

Spatiotemporal Response of Ecosystem Service Values to Urban Expansion in the Yangtze River Economic Belt Based on the GTWR Model

ZHOU Xiaoyan, WANG Shiqi

(School of Resources and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: In order to explore the impact of urban expansion on ecosystem service values, the spatial and temporal evolution pattern of urban expansion intensity and ecosystem service values in the Yangtze River Economic Belt and its correlation were analyzed using the hot spot analysis method and the GTWR (geographically and temporally weighted regression) model. The results show that: during the past 15 years, the urban area of the Yangtze River Economic Belt had been expanding continuously, with the urban expansion intensity of 0.02% each year; the hot spots had been transiting from the southeast of the Yangtze River Delta to its central and northern parts, and gradually covered the whole Yangtze River Delta; from 2000 to 2015, the total value of ecosystem services had decreased by 0.27% in the Yangtze River Economic Belt, among which the hot spots of provision service values, regulation service values, support service values and total service values decline were concentrated in the Yangtze River Delta, while the hot spots of cultural service values decline distributed in some areas in Zhejiang Province and Jiangxi Province; the process of urban expansion had no significant effect on cultural service values, but it had significant negative effects on provision service values, regulation service values, support service values and total service values. The negative effects of urban expansion on ecosystem service values had the characteristics of spatial and temporal heterogeneity. Therefore, differentiated management mode should be adopted in the ecological protection of the Yangtze River Economic Belt.

Keywords: urban expansion; ecosystem service value; hot spot analysis; geographically and temporally weighted regression; the Yangtze River Economic Belt

收稿日期:2020-08-07

修回日期:2020-08-20

资助项目:国家自然科学基金“基于空间异质性和不确定性的城市扩展元胞自动机模型构建——以武汉城市圈为例”(41571384)

第一作者:周晓艳(1974—),女,湖北荆州人,副教授,博士研究生,主要从事城市地理与国土空间规划研究。E-mail:zhouxiaoyan@whu.edu.cn

通信作者:王诗琪(1997—),女,湖北武汉人,硕士研究生,研究方向为城市地理与区域发展。E-mail:sqwang@whu.edu.cn

城镇化进程是我国改革开放以来意义最重大的发展过程之一^[1]。1978—2017年,我国城镇化水平从17.86%大幅增长至58.52%^[2],但城镇空间扩张对社会经济和生态环境产生了重要影响。城镇扩张过程作为土地利用变化的关键驱动力,不仅会侵占生态、生产空间,而且会破坏地区生态安全格局、削弱资源环境承载力^[3]。在新型城镇化建设背景下,如何实现城市发展与生态保护协同并进,同时从区域角度协调城市间发展关系,实现区域整体可持续发展是当前的重要研究热点^[4]。

区域的景观具有重要的生态系统服务价值^[5],城镇扩张驱动下的土地利用变化使得区域的景观格局发生变化,从而对生态系统服务价值产生重大影响^[6-7]。我国区域发展面临着生态系统服务供给不足与生态系统服务价值损失之间的冲突问题^[8],这将阻碍我国可持续发展战略的实施。已有针对城镇扩张与生态系统服务的相关研究较为丰富,研究内容主要包括城镇扩张背景下生态系统服务价值时空演变特征与分异机制^[9-11],基于城镇扩张模拟的生态系统服务价值评估与预测^[4,12],城镇扩张与土地利用变化对生态系统服务价值的影响等^[13-14]。然而,地理时空分析不仅要考虑区域化过程变量的空间异质性,也要考虑其时间非平稳性,当前的相关研究缺乏对两者的综合考虑。本研究将时空地理加权回归(GTWR)纳入城镇扩张对生态系统服务价值影响的分析中,能更全面地揭示研究区域生态系统服务价值对城镇扩张的时空响应特征,从而为制定区域差异化的生态保护措施提供理论支撑。

自十三五规划以来,长江经济带发展战略成为我国三大区域发展战略之一。然而,在快速城镇化的过程中,土地利用低效和生态环境恶化等问题将限制长江经济带的可持续发展^[15-16]。在“共抓大保护,不搞大开发”的重要理念下,如何权衡社会经济发展与生态环境保护成为长江经济带发展亟待解决的问题^[17]。本文在现有研究基础上,对2000—2015年长江经济带128个研究单元的城镇扩张强度与生态系统服务价值进行测算,采用热点分析探索其时空演变格局,并通过时空地理加权回归模型探究长江经济带各研究单元城镇扩张对生态系统服务价值量变化的时空影响特征,以期构建长江经济带的生态安全格局、实施差异化生态保护管理以及制定生态补偿措施提供理论依据。

1 研究区概况

长江经济带位于长江流域,地理坐标为东经96°

24'—124°3',北纬19°55'—35°44',横跨我国东、中、西部,规划范围包括上海市、江苏省、浙江省、安徽省、江西省、湖北省、湖南省、重庆市、四川省、贵州省、云南省共11个省级行政区,面积约205万km²,截至2015年,年末常住人口总数约6亿人,地区生产总值约30.52万亿元,分别占我国国土面积、总人口数及国内生产总值的21.35%,42.75%,44.31%。长江经济带是我国海岸经济带以外最具发展潜力的综合经济带,自然资源丰富,工业基础雄厚,内河航道优越,经济发达,人才资源集聚,同时具有无与伦比的国家安全价值,是我国综合实力最强、战略支撑作用最大的区域之一^[16-17]。

本文采用长江经济带地级市及以上城市行政辖区为研究单元。为统一研究尺度,将湖北省内毗邻的仙桃市、天门市和潜江市这3个省直辖县级行政单元合并为“仙天潜地区”,最终得到128个研究单元。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究数据与预处理

研究数据主要包括长江经济带行政区划数据与土地利用遥感监测数据,数据皆来源于中国科学院资源环境数据中心(<http://www.resdc.cn/>),其中行政区划数据采用2015年全国省级与市级行政区划矢量数据。土地利用数据采用长江经济带2000年、2005年、2010年和2015年共4期数据,分辨率为1km,包括6个一级分类和25个二级分类。借鉴谢高地等^[18-19]建立的中国生态系统单位面积生态服务价值当量框架及其应用研究^[20-21],将25个二级土地利用类型进行重分类,得到农田、林地、草地、水域、湿地、未利用地和建设用地共7个用地类型。

2.2 研究方法

2.2.1 城镇扩张强度指数 参考已有研究^[22-23],构建城镇扩张强度指数,见公式(1):

$$P = \frac{U_{t+n} - U_t}{A} \times \frac{1}{n} \times 100\% \quad (1)$$

式中: P 为 t 至 $t+n$ 时段内研究单元的城镇扩张强度; U_t, U_{t+n} 分别为研究时段初期与末期的城镇用地面积; n 为研究时段长度; A 为研究单元总面积。

2.2.2 生态系统服务价值计算及敏感性分析 谢高地等^[19,24]在Costanza等的研究基础上,利用专家知识法,构建并修正了中国生态系统单位面积生态服务价值当量表,将生态系统服务分为供给服务、调节服务、支持服务、文化服务4个一级类型和9个二级类型。1个标准当量因子的定义为1hm²全国农田年平均自然粮食产量的价值,考虑到人为因素干扰难以消除,在实

际计算中可用单位面积农田粮食生产的净利润作为标准当量因子^[21]。根据《中国粮食发展报告》计算得到 2000—2015 年全国单位面积粮食生产净利润为 1 837.46 元/hm²,全国粮食平均单产为 4 856.97 kg/hm²,考虑到粮食生产能力的空间差异性,通过国家统计局数据计算

长江经济带 15 a 间粮食平均单产为 5 058.57 kg/hm²,基于此对全国单位面积粮食生产净利润进行修正,得到 15 a 间长江经济带标准生态系统服务当量因子价值量为 1 913.72 元/hm²,并构建长江经济带单位面积生态系统服务价值量表(表 1)。

表 1 长江经济带单位面积生态系统服务价值量 元/(hm²·a)

一级服务	二级服务	农田	林地	草地	水域	湿地	未利用地	建设用地
供给服务	食物生产	1913.72	631.53	822.90	1014.27	688.94	38.27	0
	原材料生产	746.35	5702.89	688.94	669.80	459.29	76.55	0
	小计	2660.07	6334.41	1511.84	1684.07	1148.23	114.82	0
调节服务	气体调节	1377.88	8267.27	2870.58	976.00	4612.07	114.82	0
	气候调节	1856.31	7788.84	2985.40	3942.26	25930.91	248.78	0
	水文调节	1473.56	7827.11	2908.85	35920.52	25720.40	133.96	0
	废物处理	2660.07	3291.60	2526.11	28418.74	27557.57	497.57	0
支持服务	小计	7367.82	27174.82	11290.95	69257.53	83820.94	995.13	0
	保持土壤	2813.17	7693.15	4286.73	784.63	3808.30	325.33	0
	维持生物多样性	1951.99	8630.88	3578.66	6564.06	7061.63	765.49	0
文化服务	小计	4765.16	16324.03	7865.39	7348.68	10869.93	1090.82	0
	美学景观	325.33	3980.54	1664.94	8496.92	8975.35	459.29	0
	小计	325.33	3980.54	1664.94	8496.92	8975.35	459.29	0
总服务	合计	15118.39	53813.81	22333.11	86787.20	104814.44	2660.07	0

基于各研究单元土地利用数据与生态系统服务价值量表,计算出研究单元的各项生态系统服务价值量,并构建生态系统服务价值量下降率与变化率指标,公式^[25]如下:

$$ESV_i = \sum_{j=1}^9 A_i \times VC_{ij} \tag{2}$$

$$ESV_j = \sum_{i=1}^6 A_i \times VC_{ij} \tag{3}$$

$$ESV = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^9 A_i \times VC_{ij} \tag{4}$$

$$D = \frac{ESV_t - ESV_{t+n}}{ESV_t} \times 100\% \tag{5}$$

$$C = \frac{ESV_{t+n} - ESV_t}{ESV_t} \times 100\% \tag{6}$$

式中:ESV_{*i*},ESV_{*j*},ESV 分别为研究单元第 *i* 类用地的生态系统服务价值、第 *j* 项生态系统服务类型的价值以及生态系统总服务价值;*A_i*为研究单元第 *i* 类用地面积;VC_{*ij*}为表 1 中第 *i* 类用地第 *j* 项服务的价值系数;*D* 与 *C* 分别为研究单元价值量下降率与变化率;ESV_{*t+n*}和 ESV_{*t*}分别表示 *t*+*n* 时刻与 *t* 时刻研究单元的生态系统服务价值量。

$$CS_i = \left| \frac{(ESV_2 - ESV_1)/ESV_1}{(VC_{2i} - VC_{1i})/VC_{1i}} \right| \tag{7}$$

式中:CS_{*i*}为第 *i* 种土地利用类型的敏感性指数;ESV₁和 ESV₂分别为调整前后的生态系统服务总价值量;VC_{1*i*}和 VC_{2*i*}分别为调整前后第 *i* 种土地利用类型的价值系数。若 CS_{*i*}>1,表明 ESV 对价值系数

具有弹性;若 CS_{*i*}<1,则说明 ESV 对价值系数缺乏弹性,计算过程是可靠的。

2.2.3 热点分析 Getis-Ord *G*^{*} 指数可分析研究单元属性的空间分布格局,公式^[26-27]如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij}(d) X_j}{\sum_{j=1}^n X_j} \tag{8}$$

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\text{var}(G_i^*)}} \tag{9}$$

式中:*X_j*为第 *j* 个研究单元的属性值;*n*=128;*W_{ij}(*d*)*为以距离 *d* 为规则的空间权重;*E*(*G_i^{*}*),var(*G_i^{*}*)分别为 *G_i^{*}* 的期望与方差,当 *Z* 值显著大于 0 时,表示第 *i* 个研究单元周围都是高值,为热点区,反之则为冷点区。

2.2.4 时空地理加权回归模型 时空地理加权回归(GTWR)模型在地理加权回归(GWR)模型的基础上引入时间因子,既解决了截面数据样本数量有限性的问题,还考虑了时间与空间非平稳性,能有效估计因子参数,模型如下^[28-29]:

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, t_i) X_{ik} + \epsilon_i \tag{10}$$

式中:(*u_i*,*v_i*,*t_i*)为第 *i* 个样本单元的时空坐标;*X*,*Y* 分别为解释变量与被解释变量;*p* 为解释变量个数;*β*₀(*u_i*,*v_i*,*t_i*)为截距项;*β_k*(*u_i*,*v_i*,*t_i*)为第 *k* 个解释变量的估计系数;*ε_i*为模型残差。本文对 GTWR

模型的实现主要基于 ArcGIS 10.2 软件,采用 Huang 等^[30]制作的 GTWR 插件,带宽采用 AICc 优化设置,时空距离参数比值为 1。

3 结果与分析

3.1 长江经济带城镇扩张时空演变格局

2000—2015 年,长江经济带城镇范围不断扩张,年平均扩张强度为 0.02%,其中 2000—2005 年扩张强度最大,每年约 0.03%。在各省市中,长江经济带下游地区的城镇扩张强度较大,其中上海市、江苏省、浙江省、安徽省的城镇年扩张强度分别为 0.21%,0.12%,0.11%,0.05%;中游江西省、湖北省、湖南省城镇扩张的强度较低,每年 0.01%~0.02%;上游重庆市城镇年扩张强度约 0.02%,其他省份的年扩张强度则均不足 0.01%。

为了深入探究长江经济带各研究单元城镇扩张

的空间分布格局,对各时段内研究单元的城镇扩张强度指数进行热点分析(图 1)。结合城镇扩张强度指数计算结果与热点分析结果,2000—2005 年,长江经济带城镇扩张的热点区域主要集中在下游长三角的东南部,其中浙江省嘉兴市与宁波市城镇年扩张强度最大,分别为 0.83%,0.62%,冷点区则不显著。2005—2010 年,城镇扩张的热点区向长三角中部与北部转移,其中江苏省镇江市与南京市城镇扩张最为显著,年扩张强度分别为 0.65%,0.30%,冷点区仍不显著。2010—2015 年,城镇扩张的热点区覆盖长三角的大部分地区,浙江省嘉兴市与江苏省无锡市年扩张强度最大,分别为 0.27%,0.22%,冷点区主要分布在长江中游和上游部分地区,其中岳阳等地区的年扩张强度几乎为 0。计算 2000—2015 年各地区的年城镇扩张强度,其热点区仍然集中在长三角地区,冷点区分布在长江经济带上游与中游部分地区。

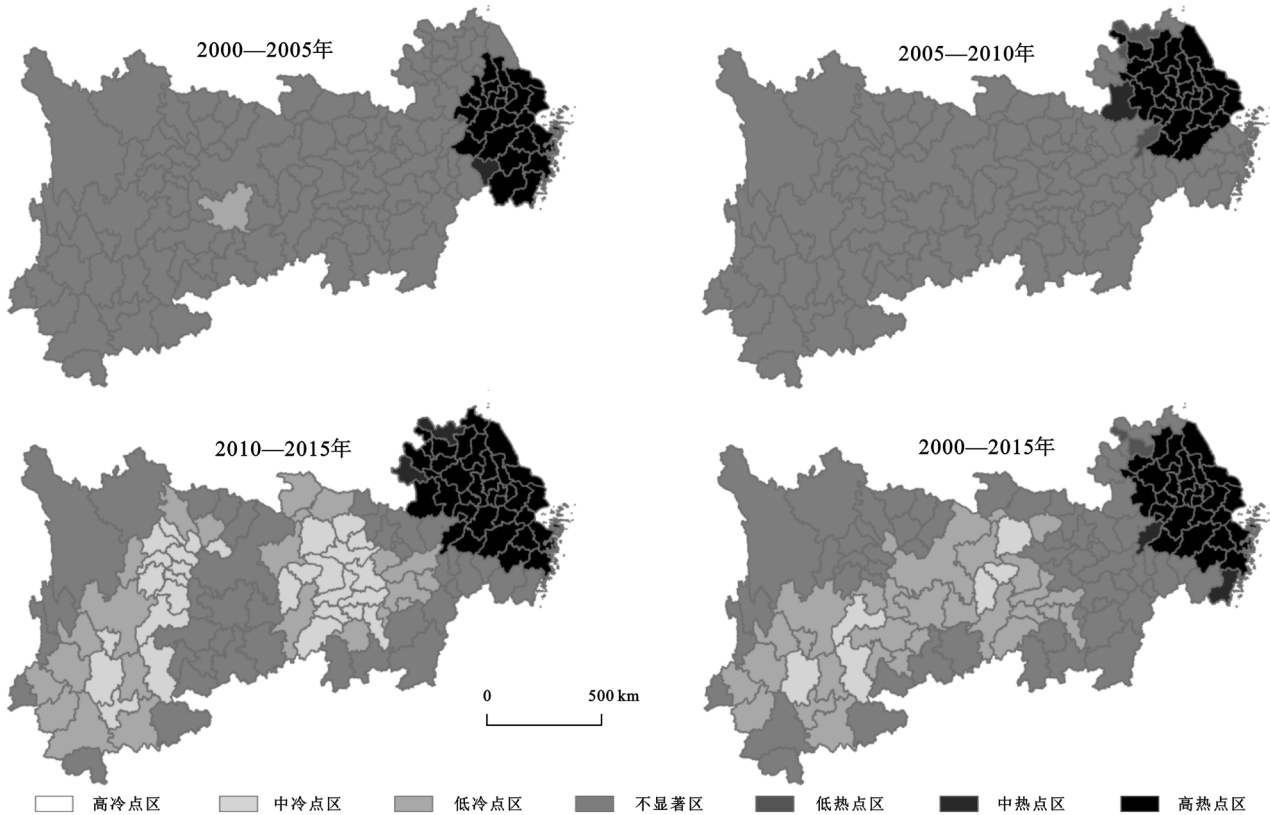


图 1 长江经济带各时段城镇扩张强度热点分析

3.2 长江经济带生态系统服务价值时空演变格局

3.2.1 生态系统服务价值敏感性分析 敏感性指数能验证 ESV 对价值系数的依赖性,另一方面也能反映各地类对生态系统服务总价值的影响^[25]。将 2000—2015 年长江经济带各用地类型价值指数 VC 分别调整 50%,根据公式(7)计算其 CS 值,结果见表 2。总体而言,2000—2015 年长江经济带各土地利用类型敏感性指数均小于 1,说明生态系统服务价值量

对于各地类价值系数不敏感,生态系统服务价值量的计算是合理的。其中,林地的敏感性指数相对较大,稳定在 0.69,说明林地对于长江经济带整体的生态系统服务价值具有重要的作用。

3.2.2 长江经济带生态系统服务价值时空变化分析 基于生态系统服务价值当量表,计算出 2000—2015 年长江经济带各类生态系统服务价值量见表 3。在 2010—2015 年,长江经济带的平均生态系统总服务

价值量为 73 186.25 亿元,其中供给服务、调节服务、支持服务与文化服务分别占比为 11.21%,52.59%,29.31%,6.89%。在 15 a 间,供给服务与支持服务价值量始终呈下降的趋势,而调节服务、文化服务和总服务价值量则在 2000—2010 年增加,在 2010—2015 年开始显著下降。总体而言,15 a 间长江经济带生态系统的总服务价值量下降了 0.27%,其中供给服务、调节服务和支持服务的价值量分别下降了 0.71%,0.09%,0.53%,而文化服务则增加了 0.12%。

表 2 敏感性指数计算结果

土地利用 类型	敏感性指数			
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
农田	0.13	0.13	0.13	0.13
林地	0.69	0.69	0.69	0.69
草地	0.10	0.10	0.10	0.10
水域	0.06	0.06	0.06	0.06
湿地	0.02	0.02	0.02	0.02
未利用地	0	0	0	0

对 2000—2015 年各地区生态系统服务价值量的下降率进行热点分析见图 2。供给服务价值量下降的热点区集中于长江经济带下游长三角地区,该区域范围内各研究单元的供给服务价值量均呈现显著下降特征,其中上海市、嘉兴市、苏州市、无锡市分别下降

了 14.32%,13.81%,13.02%,9.58%;而供给服务价值量下降的冷点区主要集中在长江经济带上游部分地区。调节服务价值量下降的热点区集中在长三角东南部地区,其中上海市和嘉兴市分别显著降低了 9.40%,5.61%;冷点区集中在长江经济带中游湖北省与湖南省的部分地区。支持服务价值量下降的热点区也集聚在长三角地区,其中上海市、嘉兴市、苏州市分别降低了 12.61%,12.32%,8.70%;冷点区分布在长江经济带上游部分区域。文化服务价值量下降的热点区分布在浙江省与江西省部分地区,其中台州市和绍兴市分别显著降低了 2.49%,2.09%;冷点区则分布在中游湖北省与湖南省部分地区。生态系统服务总价值量下降的热点区集中在长三角地区,其中上海市、嘉兴市、镇江市总价值量分别降低了 10.16%,8.00%,5.34%;冷点区则集中在湖北省与湖南省部分地区。

表 3 长江经济带 2000—2015 年的生态系统服务价值量
亿元/a

服务类型	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
供给服务	8229.20	8218.97	8207.60	8170.51
调节服务	38472.86	38501.87	38523.75	38439.08
支持服务	21491.40	21470.82	21458.21	21378.32
文化服务	5038.43	5047.79	5051.74	5044.47
总服务	73231.89	73239.45	73241.30	73032.38

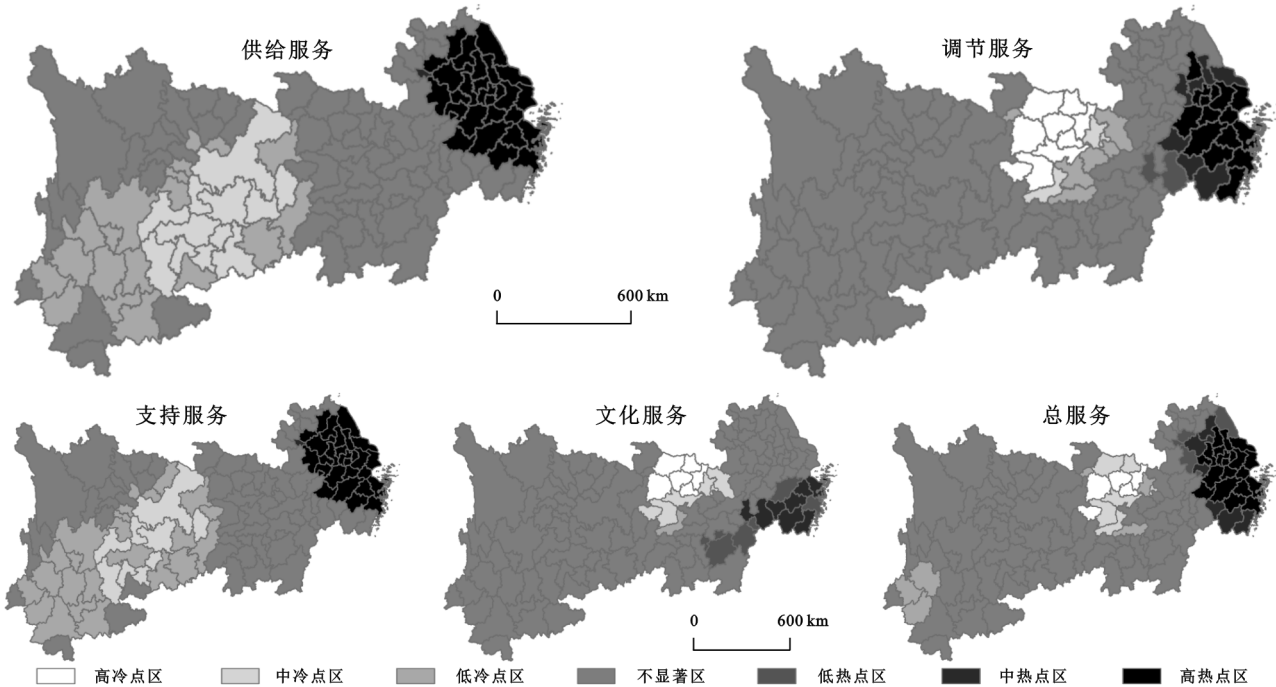


图 2 2000—2015 年长江经济带生态系统服务价值量变化率的热点分析

3.3 长江经济带城镇扩张对生态系统服务价值量变化的时空影响分析

考虑到长江经济带各地区的城镇扩张强度与生态系统服务价值量变化率的时空分布具有非平稳性的特征,采用 GTWR 模型从局部尺度来分析城镇扩

张对价值量变化的影响。利用 3 个时段的面板数据分别以生态系统供给服务、调节服务、支持服务、文化服务与总服务的价值量变化率为被解释变量,城镇扩张强度为解释变量,进行 OLS 回归和 GTWR 回归,并对比其拟合结果。其中,文化服务的回归结果不满

足 F 检验和 t 检验要求,说明城镇扩张对文化服务价值量变化的线性驱动作用并不显著。其他生态系统服务类型的回归参数见表 4。

表 4 GTWR 和 OLS 的模型诊断结果

服务类型	R ²		RSS		AICc	
	GTWR	OLS	GTWR	OLS	GTWR	OLS
供给服务	0.80	0.69	84.82	127.98	590.17	671.83
调节服务	0.35	0.13	248.43	330.59	998.92	1036.23
支持服务	0.78	0.68	68.64	98.14	498.58	569.88
总服务	0.48	0.30	152.22	203.21	806.35	849.37

基于 R^2 , RSS 与 AICc 指数,对 OLS 与 GTWR 的回归结果进行对比。其中,GTWR 模型的拟合度大于 OLS 的拟合度,而 GTWR 的残差平方和指数和 AICc 指数则显著低于 OLS,说明采用 GTWR 模型能比 OLS 模型更有效地解释城镇扩张对生态系统服务价值量变化的影响作用及其时空异质性特征。

将局部样本的回归系数进行可视化,见图 3。总体而言,大部分地区的回归系数为负数,说明随着城镇扩张强度的增大,各地区生态系统的供给服务、调节服务、支持服务及总服务价值量的变化率减小,城镇扩张对长江经济带大部分地区的生态系统服务价值具有显著的负面影响。对于不同的生态系统服务类型,回归系数的大小具有不同的空间分布特征,且在时间序列上发生变化。

对于生态系统供给服务价值而言,回归系数的绝对值较大的区域主要分布在长江经济带的上游和下游地区。在 2000—2005 年和 2005—2010 年,城镇扩张对长江经济带上游云南省与贵州省的南部地区和下游长三角地区的负面影响强度较大,主要源于城镇扩张减少了耕地与林地等能提供重要供给服务功能的用地,从而导致生态系统的供给服务价值量显著降低,而中游大部分地区受影响程度较小。2010—2015 年,受城镇扩张负面影响较大的区域主要集中在长江经济带的上游地区和中游西部的少数地区,其耕地、林地及草地逐渐向建设用地和水域转化,供给服务价值量逐渐下降,而下游大部分地区受影响较小。

对于生态系统调节服务价值而言,回归系数绝对值较大的区域主要集中在长江经济带上游和中游地区。2000—2005 年,长江经济带上游云南省和贵州省的南部地区以及中游湖南省的部分地区受城镇扩张的负面影响较大,主要源于城镇建设对林地、草地与水域的占用,而下游地区受城镇扩张的影响程度相对较小。2005—2010 年,城镇扩张对长江经济带上游大部分地区的调节服务价值具有较强的负面影响,而云南省西部德宏傣族景颇族自治州等地区,受益于“三江”流域实施的天然林保护、退耕还林和石漠化治理等重要生态保护工程^[31],其调节服务价值增加,回归系数为正。2010—2015 年,

由于澜沧江、金沙江等梯形水电站工程^[32]的建设,云南西部部分地区水域面积增大,城镇扩张对该地区的调节服务价值具有正面影响,对长江经济带上游其他地区和中游西部部分地区仍具有较大的负面影响,对下游地区的负面影响较小。

对于生态系统支持服务价值而言,长江经济带上游南部地区回归系数的绝对值较大。2000—2005 年,由于耕地和林地、水域等生态用地被破坏,长江经济带上游云南省与贵州省的南部地区和下游北部地区的支持服务价值受城镇扩张的影响较大,中游地区受影响较小。2005—2010 年,城镇扩张对支持服务影响较大的地区主要集中在贵州省南部。到了 2010—2015 年,受城镇扩张负面影响较大的地区主要分布在长江上、中游以南,该地区的耕地、林地、草地和湿地不断向水域和建设用地转化。

对于生态系统总服务价值而言,回归系数绝对值较大的区域主要集中在长江经济带的上游地区。2000—2005 年,由于大量耕地和林地等生态用地被建设用地侵占,城镇扩张对总服务价值负面影响较强的地区主要分布在云南省与贵州省南部。2005—2010 年,受城镇扩张负面作用较强的地区收缩至贵州省南部。到了 2010—2015 年,城镇扩张对长江经济带上游大部分地区都具有较强的负面影响,对云南省西部部分地区则具有正面影响,对中游和下游的大部分地区的负面影响较小。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究从不同的生态系统服务类型角度,分析了长江经济带各地区生态系统服务价值对城镇扩张的时空响应特征。在已有相关研究中,黄敏等^[33]对全国范围的研究表明城镇化水平与生态系统服务价值显著负相关,虎陈霞等^[14]对嘉兴市的研究表明建设用地与生态系统服务价值具有负相关关系。本文的研究结果则表明,总体上长江经济带城镇扩张对生态系统服务价值具有负面影响,但对不同的生态系统服务类型,不同地区有显著的时空异质性。因此,在进行长江经济带生态保护的差异化管理中,应重点加强城镇扩张对上游地区尤其是上游南部地区生态系统影响的管控,保持中游地区耕地和水域、湿地等生态用地的稳定以维持其生态系统服务功能,优化下游地区城镇发展格局以增强生态环境承载能力。

由于数据和研究尺度的局限性,本文也有以下不足。一方面,本文在进行空间分析时采用了地级市及以上城市尺度,但不同的评价与分析尺度上生态系统的格局与过程将呈现不同的特征^[34];另一方面,城镇扩张不仅包括城镇用地扩张的强度,也包含城镇扩张的空间形

态和空间差异指数等多方面内涵。在未来的研究中,可尝试利用更精细的数据从多视角多尺度进一步探究生态系统服务价值对城镇扩张的时空响应特征,以期为区域发展和生态环境保护差异化管理提供理论指导。

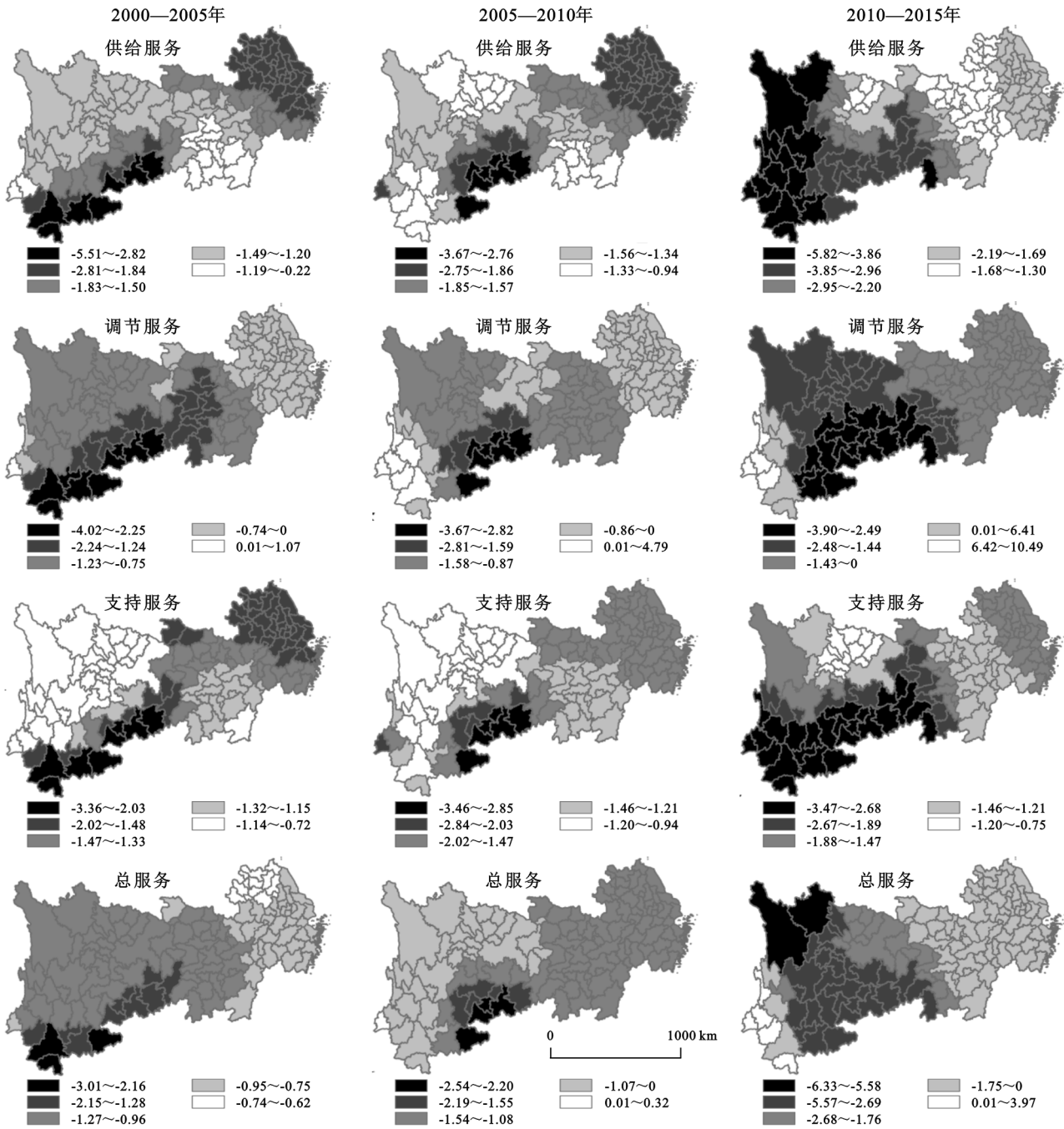


图 3 长江经济带城镇扩张强度对生态系统服务价值影响的时空分异特征

4.2 结论

(1) 2000—2015 年,长江经济带城镇范围不断扩张,年平均城镇扩张强度为 0.02%。在 15 a 间,城镇扩张的热点区主要分布在下游长三角地区,其中嘉兴、无锡、镇江、苏州、南京等城市的扩张强度最大;而冷点区则主要分布在上游与中游部分地区。

(2) 2000—2015 年,长江经济带生态系统服务总价值量下降了 0.27%,其中供给服务、调节服务和支持服务价值量分别降低了 0.71%,0.09%,0.53%,且下降的热点区皆分布在长三角地区。长江经济带

整体的文化服务价值量增加了 0.12%,局部下降的热点区主要分布在江西省与浙江省部分地区。

(3) 城镇扩张对长江经济带的文化服务价值量的影响不显著,但是对大部分地区生态系统的供给服务、调节服务、支持服务以及总服务的价值量均产生负面影响,且影响强度大小具有显著的时空异质性特征。长江经济带上游地区,尤其是上游南部地区的各类生态系统服务价值在各时段内受城镇扩张的影响强度较大;中游西部部分地区的供给服务、调节服务和支持服务的价值量在部分时段内受城镇扩张的影响强度较大,总服

务价值量受影响较小;下游地区的供给服务和支撑服务价值量在部分时段内受城镇扩张的影响较大,调节服务和总服务价值量受影响较小。

参考文献:

- [1] 谢高地,张彪,鲁春霞,等.北京城市扩张的资源环境效应[J].资源科学,2015,37(6):1108-1114.
- [2] 吴宇哲,孙小峰.改革开放 40 周年中国土地政策回溯与展望:城市化的视角[J].中国土地科学,2018,32(7):7-14.
- [3] 戴均良,高晓路,杜守帅.城镇化进程中的空间扩张和土地利用控制[J].地理研究,2010,29(10):1822-1832.
- [4] 李平星,樊杰.区域尺度城镇扩张的情景模拟与生态效应:以广西西江经济带为例[J].生态学报,2014,34(24):7376-7384.
- [5] Bateman I J, Harwood A R, Mace G M, et al. Bringing ecosystem services into economic decision-making: Land use in the United Kingdom [J]. Science, 2013, 341 (6141):45-50.
- [6] Liu W, Zhan J, Zhao F, et al. Impacts of urbanization-induced land-use changes on ecosystem services: A case study of the Pearl River Delta Metropolitan Region, China[J]. Ecological Indicators, 2019,98:228-238.
- [7] Zank B, Bagstad K J, Voigt B, et al. Modeling the effects of urban expansion on natural capital stocks and ecosystem service flows: A case study in the Puget Sound, Washington, USA [J]. Landscape and Urban Planning, 2016,149:31-42.
- [8] Yuan Y, Chen D, Wu S, et al. Urban sprawl decreases the value of ecosystem services and intensifies the supply scarcity of ecosystem services in China[J]. Science of the Total Environment, 2019,697.DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134170.
- [9] 张骞,高明,杨乐,等.1988—2013 年重庆市主城九区生态用地空间结构及其生态系统服务价值变化[J].生态学报,2017,37(2):566-575.
- [10] 侯兰功,乔标.北京市城市扩张及其生态效应研究[J].水土保持研究,2012,19(6):193-196.
- [11] 黄木易,方斌,岳文泽,等.近 20 a 来巢湖流域生态服务价值空间分异机制的地理探测[J].地理研究,2019,38(11):2790-2803.
- [12] 王保盛,陈华香,董政,等.2030 年闽三角城市群土地利用变化对生态系统水源涵养服务的影响[J].生态学报,2020,40(2):484-498.
- [13] 刘菁华,李伟峰,周伟奇,等.京津冀城市群扩张模式对区域生态安全的影响预测[J].生态学报,2018,38(5):1650-1660.
- [14] 虎陈霞,郭旭东,连纲,等.长三角快速城市化地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以嘉兴市为例[J].长江流域资源与环境,2017,26(3):333-340.
- [15] 金贵,邓祥征,赵晓东,等.2005—2014 年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征[J].地理学报,2018,73(7):1242-1252.
- [16] 余之祥.长江流域的开发开放与地理学研究[J].地理学报,1994,49(S1):729-736.
- [17] 陆大道.长江大保护与长江经济带的可持续发展:关于落实习总书记重要指示,实现长江经济带可持续发展的认识与建议[J].地理学报,2018,73(10):1829-1836.
- [18] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.生态系统服务的供给、消费和价值化[J].资源科学,2008,30(1):93-99.
- [19] 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.
- [20] 黄木易,岳文泽,方斌,等.1970—2015 年大别山区生态服务价值尺度响应特征及地理探测机制[J].地理学报,2019,74(9):1904-1920.
- [21] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746.
- [22] 万义良,金瑞,唐建波,等.东莞市城镇扩张景观格局变化特征[J].经济地理,2019,39(3):84-92.
- [23] 焦利民,肖丰涛,许刚,等.武汉都市区绿地破碎化格局对城市扩张的时空响应[J].资源科学,2015,37(8):1650-1660.
- [24] 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):189-196.
- [25] 李文楷,李天宏,钱征寒.深圳市土地利用变化对生态服务功能的影响[J].自然资源学报,2008,23(3):440-446.
- [26] 薛俊菲,陈雯,曹有挥.2000 年以来中国城市化的发展格局及其与经济发展的相关性:基于城市单元的分析[J].长江流域资源与环境,2012,21(1):1-7.
- [27] 陈蔚珊,柳林,梁育填.基于 POI 数据的广州零售商业中心热点识别与业态集聚特征分析[J].地理研究,2016,35(4):703-716.
- [28] 沈杨,汪聪聪,高超,等.基于城市化的浙江省湾区经济带碳排放时空分布特征及影响因素分析[J].自然资源学报,2020,35(2):329-342.
- [29] 王海军,刘艺明,张彬,等.基于 Logistic-GTWR 模型的武汉城市圈城镇用地扩展驱动力分析[J].农业工程学报,2018,34(19):248-257.
- [30] Huang B, Wu B, Barry M. Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in house prices[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010,24(3):383-401.
- [31] 赵成,顾小华,姜宏雷,等.“三江”流域(云南部分)土地利用变化的生态环境效应研究[J].水土保持研究,2016,23(1):240-243.
- [32] 冯敏,杨琼花.基于土地利用现状分类的云南省生态用地变化研究[J].地矿测绘,2017,33(2):20-23.
- [33] 黄敏,杨飞,郑士伟.中国城镇化进程对生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2019,26(1):352-359.
- [34] 吕一河,傅伯杰.生态学中的尺度及尺度转换方法[J].生态学报,2001,21(12):2096-2105.