引文格式：姜敏,张鹤琼,罗丽婷,等. 基于GEE平台的县域生态服务价值时空演变研究[J]. 地理空间信息, 2024, 22(1): 60-65. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2024.01.014

基于GEE平台的县域生态服务价值时空演变研究

姜　敏[1,2]，张鹤琼[1*]，罗丽婷[1]，李　辉[1]
（1. 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司，广东 广州 510060；
2. 广东省城市感知与监测预警企业重点实验室，广东 广州 510060）

摘　要：利用GEE平台的长时间序列Landsat影像，获取了2005—2020年每5年的土地利用数据，并采用价值当量因子法结合植被指数核算了生态系统服务价值（ESV），揭示了从化区近15年ESV的时空变化特征。结果表明：①林地是从化区最主要的自然生态系统，研究期间林地呈波动增加的趋势，耕地数量逐渐萎缩，建设用地逐渐扩张，增长了约100%；②研究期间从化区ESV先增后降，净增长了3.04亿元，调节服务和支持服务对ESV总量的贡献最大，占比在80%以上；③从化区ESV总体呈现明显的北部高、南部低的空间分异特征，ESV变化主要集中在南部，城市建设是ESV损失的主要原因，而植树造林、耕地转化为园地是ESV增益的主要路径。

关键词：土地利用；ESV；时空演变；从化区；GEE
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）01-0060-06

Spatio-temporal Evolution of Ecological Service Value at County Level Based on GEE Platform

JIANG Min[1,2], ZHANG Heqiong[1], LUO Liting[1], LI Hui[1]
(1. Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510060, China;
2. Guangdong Enterprise Key Laboratory for Urban Sensing, Monitoring and Early Warning, Guangzhou 510060, China)

Abstract: Base on GEE platform, we obtained the land-use data every five years from 2005 to 2020, and used the value equivalent factor method combined with vegetation index to calculate the ecosystem service value (ESV), revealing the spatio-temporal variation characteristics of ESV in Conghua District in the past 15 years. The main results are as follows: ①during the study period, forest showed a trend of fluctuation and increase, cultivated land gradually shrank, and construction land gradually expanded, increasing by about 100%. ②From 2005 to 2020, ESV increased first and then decreased in Conghua District, with a net increase of 304 million yuan. ③ESV generally presented obvious spatial differentiation characteristics of high in the north and low in the south.

Key words: land-use, ESV, spatio-temporal evolution, Conghua District, GEE

生态系统服务是衡量人类福祉水平和区域可持续发展状态的重要指标[1-2]。一直以来，生态保护都是世界各国的重要发展议题，生态系统服务也成为全球学术研究的重点课题。生态系统服务价值（ESV）是定量评估生态系统服务能力的指标，其以货币的形式反映生态系统供给、调节、支持、文化等服务的水平[3-4]。定量估计区域生态系统服务能力、分析其各项服务功能时空变化，可为区域制定可持续发展战略提供科学参考[5-7]。近年来，学者们在全国尺度、区域尺度和局部地区尺度上对ESV评价进行了大量研究[8-11]。目前ESV估算的主要方法包括生态物质量评价模型和修正ESV当量因子法，前者通过遥感、地理信息系统和相关指标模型对生态系统服务能力进行测算，再基于生态经济学原理对生态服务价值进行货币化衡量，但模型输入变量较多、数据获取难，且模型参数具有一定的地理局限性，广泛应用较困难；而后者具有操作简便、地理限制性小、评估较全面的优势，因此被广泛应用。谢高地[12]等改进了Costanza R[13]等的生态系统价值估算模型，计算得到中国ESV基础当量表，被许多研究人员应用于不同尺度的生态系统服务功能评估中[14-17]。价值当量因子法认为相同土地利用类型具有同等的ESV，而在森林、农田、草地等生态系统内

收稿日期：2022-08-05。
项目来源：广东省城市感知与监测预警企业重点实验室基金资助项目（2020B121202019）；广州市城市规划勘测设计研究院科技基金资助项目（RDI2210202078）。
第一作者简介：姜敏（1994—），硕士研究生，主要从事生态系统服务功能评价工作，E-mail：ginger409@163.com。
通信作者：张鹤琼（1980—），硕士研究生，高级工程师，主要从事生态修复规划、国土空间规划工作，E-mail：zhangheqiong@gzpi.com.cn。

部，其植被覆盖程度差异明显，仅采用该方法核算难以揭示同一生态系统的内部差异[17]。鉴于此，本文依托遥感数据识别植被实际生长状态，采用植被指数对ESV当量进行修订，以获得更准确的价值评估结果。

2021年《可持续发展蓝皮书：中国可持续发展评价报告》指出，我国东部地区经济发展水平普遍较高，但在生态环境方面表现相对落后，经济发展和生态文明建设的有效链接相对不足。广州市从化区作为粤港澳大湾区北部生态屏障和流溪河的发源地，生态资源富集，素有“北回归线上的明珠”和“广州后花园”之誉，因此分析其生态系统状态，深入剖析ESV时空变化特征对粤港澳大湾区生态文明建设和可持续发展具有重要的参考价值。本文采用Google Earth、Landsat、高分等多时相高精度遥感数据，在GEE平台上利用随机森林方法识别得到2005—2020年从化区的土地利用类型，并核算ESV，再通过空间自相关、冷热点分析揭示ESV的时空分异特征。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

从化区位于广州市北部，珠江三角洲到粤北山区的过渡地带；地理坐标介于113°17′~114°04′E、23°22′~23°56′N之间，幅员面积为1 984.1 km^2，是广州市面积最大的区县；地势呈东北高、西南低的阶梯状；地貌以山地、丘陵为主，山地面积达800 km^2；自然景观以森林为主，林地面积占全区面积的61.5%。

1.2　数据来源

本文采用的主要数据为：2005—2020年Landsat5/7/8地表反射率影像和DEM数据，空间分辨率为30 m，均在GEE平台调用和处理；为建立土地利用分类样本库，采集2005—2020年Google Earth、GF-1、GF-6等高空间分辨率影像，每年约1 000个样本点；2005—2020年从化区主要粮食作物播种面积、产量，来源于《广州统计年鉴（2006—2021）》，主要农产品价格和平均价格，来源于《全国农产品成本收益汇编（2006—2019）》，均用于计算标准单位ESV当量因子。

2　研究方法

2.1　基于GEE平台的遥感影像土地利用分类

随机森林是基于决策树的集成机器学习算法，具有运算速度快、分类精度高等特点，已被广泛应用于土地利用分类研究中，并取得了良好效果[18]。鉴于此，本文采用随机森林方法将土地分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6大类。选取Landsat影像6个波段以及7个光谱指数（表1）的均值、中值和方差，NDVI、EVI、GCI、SAVI、gNDVI五种植被指数的3种谐波统计特征（相位φ、振幅A、余项a_0），DEM和坡度等特征图层作为随机森林方法的输入特征[19-21]，每年共56个特征图层。

谐波分析模型的数学表达式为（假定一年的时间$t=1$）：

$$f(t)=a_0+A\sin(2\pi t+\varphi) \tag{1}$$

表1　光谱指数的计算公式

光谱指数	公式
归一化植被指数（NDVI）	$\mathrm{NDVI}=\frac{\mathrm{NIR}-\mathrm{Red}}{\mathrm{NIR}+\mathrm{Red}}$
增强植被指数（EVI）	$\mathrm{EVI}=\frac{2.5(\mathrm{NIR}-\mathrm{Red})}{\mathrm{NIR}+6\mathrm{Red}-7.5\mathrm{Blue}+1}$
绿色叶绿素指数（GCI）	$\mathrm{GCI}=\frac{\mathrm{NIR}}{\mathrm{Green}}-1$
土壤调节植被指数（SAVI）	$\mathrm{SAVI}=\frac{1.5(\mathrm{NIR}-\mathrm{Red})}{\mathrm{NIR}+\mathrm{Red}+0.5}$
绿色归一化植被指数（gNDVI）	$\mathrm{gNDVI}=\frac{\mathrm{NIR}-\mathrm{Green}}{\mathrm{NIR}+\mathrm{Green}}$
归一化建筑指数（NDBI）	$\mathrm{NDBI}=\frac{\mathrm{SWIR1}-\mathrm{NIR}}{\mathrm{SWIR1}+\mathrm{NIR}}$
改进归一化水体指数（mNDWI）	$\mathrm{mNDWI}=\frac{\mathrm{Green}-\mathrm{SWIR1}}{\mathrm{Green}+\mathrm{SWIR1}}$

注：Blue、Green、Red、NIR、SWIR1分别表示蓝、绿、红、近红外、短波红外1波段。

2.2　ESV核算

1）标准单位ESV当量因子的确定。根据谢高地[12]等构建的中国ESV基础当量表，测算从化区2005—2020年的ESV。一个标准单位的ESV当量因子为1 hm^{2}农田每年自然粮食产量经济价值的1/7。从化区是传统的农业大区，水稻是最主要的粮食作物。因此，以从化区2005—2020年水稻的播种面积、总产量和价格为基础，计算一个标准单位的ESV当量值，即

$$E=\frac{1}{7}\times\frac{T\times P}{A} \tag{2}$$

式中，T为2005—2020年水稻年均总产量；P为水稻出售平均价格；A为年均水稻播种面积。

计算得到E为1 697.93元·hm^{-2}。由于谢高地等未对建设用地的ESV当量因子进行测算，大部分学者在应用时也只考虑了自然生态系统，一般假设建设用地的ESV为0[22-23]。事实上，居民点和工业产生的废水、废气和废物以及人们日益增长的物质需求将给生态系统服务带来负面影响。因此，借鉴袁兴中[24]等提出的建设用地ESV估算方法，本文对建设用地的价值当量进行了调整，得到从化区的基础当量因子表（表2）。

2）基于植被指数的当量因子修订。利用EVI对

表2 从化区单位面积ESV当量表/元·hm²·a⁻¹

项目	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
供给服务	2 360.12	5 620.15	1 341.36	1 494.18	−458.44	101.88
调节服务	6 537.03	24 110.61	10 017.79	61 448.09	−11 834.57	882.92
支持服务	4 227.85	14 483.34	6 978.49	6 520.05	4 601.39	967.82
文化服务	288.65	3 531.69	1 477.20	7 538.81	16.98	407.50
总计	13 413.65	47 745.79	19 814.84	77 001.13	−7 674.64	2 360.12

研究区ESV进行逐像元修订，计算公式为：

$$ESV=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{o}A_{ij}B_{ik}C_{ik} \tag{3}$$

$$C_{ik}=\frac{EVI_{ik}}{\overline{EVI_i}} \tag{4}$$

式中，A_{ij} 为第 i 种土地利用类型未修订前的第 j 种ESV当量；B_{ik}、C_{ik}、EVI_{ik} 分别为第 i 种土地利用类型在第 k 个研究单元的面积、植被覆盖度修订系数和EVI值；$\overline{EVI_i}$ 为研究区第 i 类土地利用类型的均值；i、j、k 分别为土地利用类型、生态系统服务类型和研究单元编号；m、n、o 分别为对应数量。

2.3 空间变化分析

本文采用全域空间自相关分析方法和热点分析方法对从化区ESV的时空分异特征进行分析。其计算公式为：

$$G_i^*=\frac{\sum_{j=1}^{n}w_{ij}x_i-\bar{x}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}}{s\sqrt{\frac{1}{n-1}\left[n\sum_{j=1}^{n}w_{ij}^2-(\sum_{j=1}^{n}w_{ij})^2\right]}} \tag{5}$$

$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i \tag{6}$$

$$S=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}x_j^2-(\bar{x})^2} \tag{7}$$

式中，S 为标准差；G_i^* 统计结果即z得分，表示空间聚类程度，正z得分表示热点，得分越高表示热点聚集得越紧密，负z得分表示冷点，得分越低表示冷点聚集得越紧密。

3 研究结果与分析

3.1 土地利用分类精度评价

采用分层随机抽样的方法选取80%的样本点作为训练样本，其余作为验证样本，对分类结果进行精度检验（表3）。由于早期高分辨率影像较少，高分系列卫星在2013年之后才可用，因此2005年的总体精度最低，2020年的总体精度最高。综合来看，各时期分类的总体精度较高，优于目前常用的中国多时期土地利用/覆被遥感监测数据集在本研究区的分类结果，说明采用该数据进行ESV估算具有可行性。2005—2020年从化区土地利用分类结果见图1。

表3 2005—2020年分类精度统计

指标	2005年	2010年	2015年	2020年
总体精度/%	84.9	86.9	90	90.1
Kappa系数	0.811	0.831	0.879	0.881

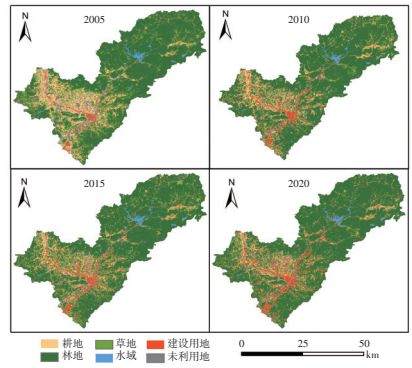


图1 2005—2020年从化区土地利用空间分布

3.2 土地利用时空演变分析

由表4、图2可知，从化区土地利用类型以林地为主，约占总面积的60%，主要分布在从化区北部，2005年以来林地增加了约13.94%，新增林地主要分布在研究区南部，大部分是由草地植被自然恢复以及耕地转化为园地而来；耕地面积占比在10%以上，主要分布在南部、地势较平坦的区域，环绕于建设用地，2005—2020年耕地数量逐渐萎缩，减少了约32.83%，其中2010—2015年减少速率最快，主要是由于农业种植结构调整，耕地大多转化为园地，用于种植果树等经济作物；2005年建设用地主要分布在研究区南部，随着城市化进程的快速推进，近15年来研究区建设用

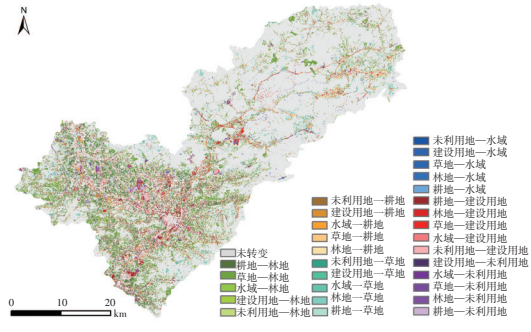


图2 2005—2020年从化区土地利用变化空间分布图

表4　2005—2020年从化区土地利用类型面积变化情况

土地利用类型	土地利用面积/千hm²				变化率/%		
	2005年	2010年	2015年	2020年	2005—2010年	2010—2015年	2015—2020年
耕地	31.94	29.64	24.61	21.46	−7.20	−16.97	−12.82
林地	117.70	134.02	129.45	134.12	13.86	−3.41	3.61
草地	28.14	18.10	24.32	19.96	−35.69	34.42	−17.93
水域	8.00	4.85	7.02	5.53	−39.40	44.79	−21.19
建设用地	7.04	10.72	11.05	14.13	52.24	3.09	27.89
未利用地	6.27	1.77	2.64	3.90	−71.77	48.90	47.82

地逐渐扩张，增长了约100%，其中2005—2010年扩张速度最快，约增长了52.24%，新增建设用地围绕原有建设用地向外扩张，主要是占用原有居民点附近的耕地。

3.3　ESV时空演变分析

3.3.1　ESV时序变化

2005—2020年从化区ESV总体呈先增后降的趋势，累计增长了3.04亿元（表5）。4种主要生态服务对总体ESV的贡献依次为：调节服务>支持服务>供给服务>文化服务。15年间，4种主要生态服务价值均呈波动增加的趋势，其中支持服务增加幅度最大，文化服务价值增加最少。

表5　2005—2020年从化区ESV/亿元

生态系统服务类型	2005年	2010年	2015年	2020年
供给服务	7.72	8.45	8.19	8.29
调节服务	36.83	37.58	38.08	37.29
支持服务	20.93	22.63	22.35	22.65
文化服务	5.21	5.43	5.51	5.50
总计	70.69	74.09	74.14	73.73

3.3.2　ESV空间分布变化

为进一步分析从化区ESV的空间分异特征，本文以300 m×300 m的网格为研究单元，计算每个网格的ESV和ESV变化量，并采用自然断点法制作2005—2020年从化区ESV空间分布图（图3），将ESV分为6个等级，1级最低、6级最高。结果表明，从化区ESV的空间分布具有明显的不均衡性，存在北部高、南部低的空间分异特征，这主要是由南北土地利用方式差异造成的。

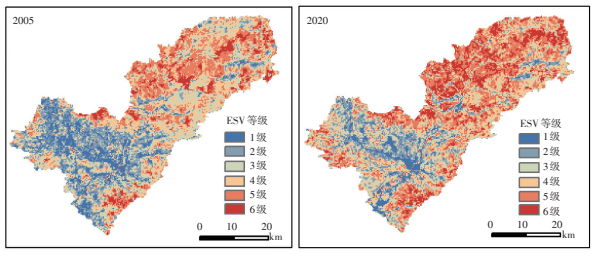


图3　2005—2020年从化区ESV的空间分布

由各网格的ESV变化情况（图4）可知，从化区ESV变化主要集中在南部，北部大部分区域ESV变化不明显；南部ESV损失区域呈现以流溪河为边的倒“人”型分布，这些区域是近15年城市建设的重点区域，快速的城市化发展给区域环境增加了压力，导致该区域ESV呈下降趋势，而南部ESV增益区域主要分布在边缘地带，特别是在研究区西南边界带上，ESV增益更明显，这主要是由于2005—2020年该区域的植被普遍向好发展，且随着植树造林、耕地转型为园地，该区域的林地显著增加，促进了生态系统的改善。

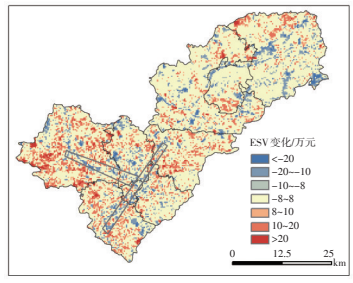


图4　2005—2020年从化区ESV变化的空间分布

3.3.3　ESV的空间关联特征

1）全局空间自相关分析结果。2005—2020年4个时期的ESV与各阶段ESV变化的全局Moran’s Ⅰ值均大于0，p值均小于0.001（表6），说明ESV的空间分布具有显著的空间正向自相关性，集聚现象明显。从年际变化来看，ESV的空间自相关性呈先减后增的态势。此外，ESV动态变化同样具有显著的空间正向自相关，高高、低低集聚显著。

2）ESV冷热点分布。2005—2020年从化区ESV变化冷热点空间分布特征见图5，可以看出，从化区ESV变化的冷热点较分散，热点区域主要分布在南部的鳌头镇、温泉镇，冷点区域主要分布在街口街道、城郊街道以及北部的吕田镇。

从不同阶段来看，2005—2010年ESV变化的冷热点较多，大致为以良口镇为界，南部广泛分布ESV变化热点，其中鳌头镇分布的热点区域最大，北部广泛

表6 2005—2020年从化区ESV及其变化的空间自相关性

参数	2005年	2010年	2015年	2020年	2005—2010年	2010—2015年	2015—2020年
Moran's I	0.732	0.685	0.677	0.686	0.629	0.558	0.542
p 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
z得分	154.431	144.368	142.848	144.689	132.629	117.617	114.347

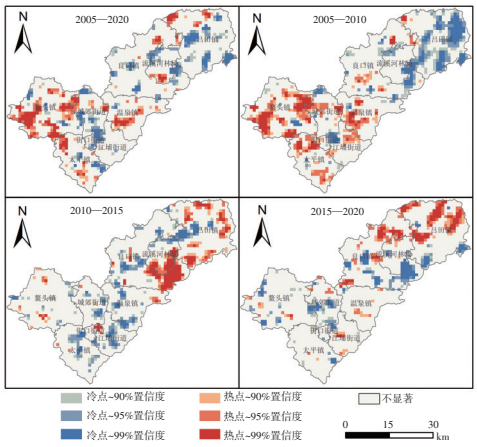


图5 2005—2020年从化区ESV变化冷热点空间分布图

分布ESV变化冷点，其中吕田镇分布的冷点区域最大，该时期从化区南部园地、林地的增长使得ESV显著增加，而吕田镇大面积林地存在退化趋势，对ESV产生消极影响；2010—2015年ESV变化冷热点减少，热点主要分布在研究区北部，该时期的生态修复工程促进了北部林地的生态恢复，冷点主要分布在流溪河沿线，该部分生态效益损失主要归因于城市建设、路网建设对生态系统的负面影响；2015—2020年ESV变化冷热点分布数量最少，南部除中心城市ESV受人类活动和建设的影响有所损失外，其余区域均呈现均衡发展趋势，北部ESV变化热点区主要分布在边缘的林地，该时期这些林地的植被绿度得到了提升。

3.4 研究结果分析

1）土地利用变化对ESV的影响。2005—2020年从化区ESV增加了3.04亿元，其中林地面积的大量增加对ESV总量增长贡献最高，特别是2005—2010年从化区积极实施生态公益林、森林公园建设等林业重点工程，5年来新增造林面积达3.4万亩，推进了部分地区的林业建设；同时从化区南部分布了大面积的农业空间，“十一五”期间从化区都市型现代农业不断壮大，花卉种植、荔枝等果树种植广泛开展，直接促进了园地的增长，使植被绿度得到了显著提高，ESV获益。此外城镇空间扩张仍是导致ESV降低的主要原因。总体上，从化区ESV具有向好的趋势，保持生态系统的长期稳定、ESV的可持续增长是从化区生态保护的长期目标。

2）ESV评估对国土空间规划的启示。土地利用变化是影响ESV的重要因素[25-26]，而ESV评估能反映当前土地利用方式的合理性，促进土地资源合理利用和优化区域生态格局，因此ESV是评估区域国土空间规划是否符合生态文明理念的重要依据[10]。研究发现，城市边缘等用地较破碎的区域ESV易受土地利用变化影响，而用地完整能有效提高生态服务价值。因此，应倡导城市建设用地、居住用地集聚发展，挖掘好建设用地间的存量未利用地，鼓励建设用地连片、连续发展和建设。从化区作为东部地区传统的农业大区，乡村人口占比大，2020年其乡村人口约占全区总人口的67%，远远高于广州市平均水平（20%）；且从化区乡村居民点也较多，通过适当合并小型村落，倡导组建较完整的农村聚落，以减少乡村生产生活空间的破碎度，既可提高土地资源使用的集约度，减少建设用地对生态系统的分割，又可提高行政管理的效率，促进公共资源的有效利用。在生态环境保护方面，应倡导优先保护和整治ESV较低的区域，促进区域生态环境协调发展，同时减少对具有高ESV区域的开发和建设，形成具有规模的生态保护区。另外，从化区过境水资源丰富，溪流、河流共计146条，是流溪河的发源地，水体条件对下游水文生态具有重要影响。因此，建议河流两岸种植一定规模的生态林、绿色隔离带，以避免建设空间对水体环境造成直接污染。

3）研究方法的局限性。采用价值当量法核算ESV本身存在一些局限性，即认为同一研究区相同用地类型具有相同的ESV。本文依托植被指数修正了有植被生长地类的核算结果，在一定程度上改善了评估结果，但没有植被生长的地类内部差异仍未得到改善。例如，城市用地和农村居民点的生产生活方式不同，对生态系统的影响方式和程度存在差异；在城市空间内部，居住用地、工业用地和商服用地等不同建设用地使用类型对生态系统的作用也有所差异。因此，基于复杂用地类型的ESV评估还需进一步探索。

4 结 语

本文基于长时间序列Landsat影像数据，揭示了从化区2005—2020年的土地利用变化情况，并结合从化区实际，测算了ESV，剖析了其时空变异特征。

1）林地是从化区最主要的自然生态系统，研究期间林地呈波动增加的趋势，主要是由耕地转化为园地；耕地数量逐渐萎缩，约减少了33%；建设用地逐渐扩张，约增长了100%。

2）研究期间从化区ESV呈先增后降的趋势，净增长3.04亿元，调节服务和支持服务对ESV总量的贡献最大，占比在80%以上。在空间分布上，从化区ESV总体呈明显的北部高、南部低的空间分异特征。研究期间ESV变化主要集中在南部，城市建设是ESV损失的主要原因，而植树造林、耕地转化为园地是ESV增益的主要路径。

3）从化区4个时期的ESV及其变化具有显著的空间正向自相关性。不同阶段ESV变化冷热点分布有所差异，但整体ESV变化热点图与ESV变化一致。

参考文献

[1] 彭建,胡晓旭,赵明月,等. 生态系统服务权衡研究进展:从认知到决策[J]. 地理学报,2017,72(6):960-973

[2] 赵文武,刘月,冯强,等. 人地系统耦合框架下的生态系统服务[J]. 地理科学进展,2018,37(1):139-151

[3] Redford K H,Adams W M. Payment for Ecosystem Services and the Challenge of Saving Nature[J]. Conservation Biology,2009,23(4):785-787

[4] 白羽萍,王佳斌,刘恋,等. 黑河流域生态系统服务价值预测及权衡分析:以张掖市为例[J]. 生态学报,2022,42(13):5 187-5 199

[5] 王晓峰,马雪,冯晓明,等. 重点脆弱生态区生态系统服务权衡与协同关系时空特征[J]. 生态学报,2019,39(20):7 344-7 355

[6] 于铄,杜贺秋,张蓬涛,等. 张承地区城镇化与生态系统服务协调关系空间分异研究[J]. 林业与生态科学,2022,37(3):301-311

[7] 何永建,孔维江. 地理国情成果用于生态系统服务价值研究[J]. 地理空间信息,2021,19(4):20-23

[8] 管青春,郝晋珉,石雪洁,等. 中国生态用地及生态系统服务价值变化研究[J]. 自然资源学报,2018,33(2):195-207

[9] 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):1 904-1 920

[10] Zhang H, Yang Q, Zhang Z, et al. Spatiotemporal Changes of Ecosystem Service Value Determined by National Land Space Pattern Change: A Case Study of Fengdu County in the Three Gorges Reservoir Area, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021,18(9):5 007

[11] 吉玮,王光宝,李丽,等. 基于土地利用的爱辉区生态价值动态评估[J]. 地理空间信息,2021,19(2):90-95

[12] 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

[13] Costanza R, dArge R, deGroot R, et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J]. Nature,1997,387(6 630):253-260

[14] 陈万旭,李江风,朱丽君. 长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析[J]. 自然资源学报,2019,34(2):325-337

[15] 崔旺来,奚恒辉,蔡莉,等. 基于NDVI的中国海岛县生态系统服务价值时空变化[J]. 经济地理,2021,41(9):184-192

[16] 熊睿毅,刘艳芳,银超慧,等. 格网尺度下福建省生态服务价值的动态评估[J]. 地理空间信息,2021,19(4):78-83

[17] 刘志涛,王少剑,方创琳. 粤港澳大湾区生态系统服务价值的时空演化及其影响机制[J]. 地理学报,2021,76(11):2 797-2 813

[18] 张德军,颜玮,陈志军,等. 基于GF-1数据复杂地区地物类型提取探究[J]. 西南大学学报(自然科学版),2021,43(11):172-185

[19] Wang Z, Ke Y, Chen M, et al. Mapping Coastal Wetlands in the Yellow River Delta, China During 2008-2019: Impacts of Valid Observations, Harmonic Regression, and Critical Months[J]. International Journal of Remote Sensing, 2021, 42(20):7 880-7 906

[20] 姜海玲,姚奕旭,洪绣超,等. 基于SG滤波去噪的时间序列谐波分析重建算法研究[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版),2021,42(3):133-140

[21] 宁晓刚,常文涛,王浩,等. 联合GEE与多源遥感数据的黑龙江流域沼泽湿地信息提取[J]. 遥感学报,2022,26(2):386-396

[22] 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):1 740-1 746

[23] 曾晨,李扬镳,段雪雯,等. 长江流域中部地区生态系统服务价值评估与综合驱动力分析[J]. 水土保持研究,2022,29(2):362-371

[24] 袁兴中,肖红艳,颜文涛,等. 成渝经济区土地利用与生态服务价值动态分析[J]. 生态学杂志,2012,31(1):180-186

[25] 韦绍音,陆汝成,林晓楠,等. 基于土地利用转型的广西边境地区生态服务功能交叉敏感性分析[J]. 水土保持研究,2022,29(3):308-316

[26] 王丹,荆延德,韩善梅,等. 基于格网的南四湖流域土地利用碳排放与其生态系统服务价值时空关系分析[J]. 生态学报,2022,42(23):9 604-9 614