
皖江城市带双核地区 ESV 时空演变 及人为驱动因素识别

姚志强^{1, 2} 陈实^{1, 2} 胡文海³ 张乐勤^{1, 2} 吴琼⁴ 章勇^{1, 51}

(1. 池州学院 地理与规划学院, 安徽 池州 247000;

2. 池州学院 自然资源遥感应用研究中心, 安徽 池州 247000;

3. 池州学院 旅游与历史文化学院, 安徽 池州 247000;

4. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083;

5. 河海大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

【摘要】: 分析生态系统服务价值(ESV)与人类活动的时空演变关联对于探索承接产业转移区域生态系统可持续发展具有重要意义。基于皖江城市带双核地区 2000~2020 年 3 期土地利用数据, 采用当量因子法计算 ESV, 通过贡献度、转移矩阵和空间统计方法进行 ESV 时空演变分析, 应用地理探测器模型探究人类活动强度(HAI)与 ESV 的时空关联影响。结果表明: (1)ESV 呈现持续下降的总体特征, 时空变化显著, 下降幅度不均匀, 2000~2010 年减幅小, 2010~2020 年减幅显著, 集中分布快速发展城镇化区域。(2)ESV 下降的根本原因是耕地转建设用地, ESV 发生增长主要是由于耕地转水域(2000~2010 年)和建设用地转耕地(2010~2020 年)。(3)因子探测 HAIq 值呈增加趋势, 较好地解释了 ESV 空间分异现象, 且两者呈负相关关系, 风险区探测搜索到 ESV 保持平衡的 HAI 异常范围。研究结果可为承接产业转移区域全面绿色转型发展、生态系统调控和优化提供科学依据。

【关键词】: 生态系统服务价值 人类活动强度 地理探测 时空关联 皖江城市带双核地区

【中图分类号】: X171.1 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)08-1776-11

生态系统服务是人类从生态系统获得的所有惠益, 包括供给服务、调节服务、文化服务、支持服务, 是生态系统维持人类生存发展的环境条件及效用^[1]。随着经济全球化、城镇化、工业化的不断深入, 生态系统服务功能因人类活动对土地利用产生的变化、人口的增加和经济的日益增长而消耗^[2, 3, 4, 5], 联合国千年生态系统评估(MA)结果显示人类活动是造成全球 60%生态系统变化的

作者简介: 姚志强(1979~), 男, 副教授, 主要研究方向为土地利用、生态系统服务. E-mail: 12553860@qq.com

基金项目: 安徽省教育厅自然科学研究重点项目(KJ2020A0759, KJ2020A0761)

皖江城市带双核地区 2000、2010 和 2020 年土地利用数据来源于 GlobeLand30: 全球地理信息公共产品 (<http://www.globallandcover.com>), 空间分辨率为 30m, 利用 ArcGIS10.4 栅格重分类方法建立各年份耕地、林地、草地、湿地、水域、建设用地和未利用地空间分布栅格数据(图 2)。粮食产量数据来自于《安徽统计年鉴》(2000-2020 年), 粮食价格根据安徽省粮食和物资储备保障中心 (<http://www.cereal.com.cn/grainInformation>)2020 年粮食价格计算得出。

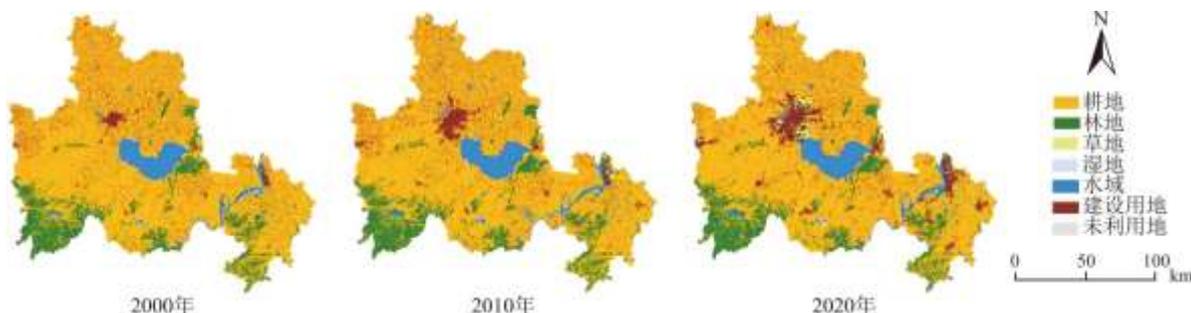


图 2 皖江城市带双核地区土地利用类型图

2 研究方法

2.1ESV 时空演变分析

2.1.1ESV 核算

目前, 在生态系统服务价值研究中, 谢高地基于 Costanza 的研究成果, 提出的基于专家知识的价值当量核算方法获得国内学者普遍认同^[22, 23, 24, 25, 26]。本文结合谢高地等^[27]及本区域相关研究^[28, 29, 30, 31], 建设用地不提供生态服务功能, 通过查阅《安徽统计年鉴》、安徽省粮食和物资储备保障中心粮食价格等资料测算 2020 年平均粮食单产市场价格, 按单位面积耕地 ESV 等于平均粮食单产市场经济价值的 1/7 计算, 然后以生物量因子系数 1.17 进行单位面积 ESV 校正^[32], 得出皖江城市带双核地区单个生态系统服务当量因子的经济价值为 2352.71 元/hm²。本文根据不同类型土地利用面积, 采用生态系统服务价值当量系数法^[33]计算各类土地 ESV, 最终得到皖江城市带双核地区 ESV 总量。公式为:

$$ESV = \sum_{k=1}^n S_k \times VC_k \quad (1)$$

$$VC_k = \sum_{f=1}^n VC_{fk} \quad (2)$$

式中: ESV 为生态系统服务价值(元); S_k 为第 k 类土地的面积(hm²); VC_k 为第 k 类土地生态系统服务价值系数(元/hm²); VC_{fk} 为土地利用类型 k 的第 f 项生态服务功能价值系数(元/hm²)。

2.1.2ESV 变化贡献度分析

ESV 变化贡献度是指土地转移类型 ESV 增(减)量占 ESV 增(减)量的比例, 本文通过 ESV 变化贡献度分析揭示皖江城市带双核地区 ESV 时空演变的原因。

2.1.3 土地利用转移矩阵分析

转移矩阵广泛用于土地利用变化研究，本文运用 MATLAB 对皖江城市带双核地区 2000~2010、2010~2020 年土地利用类型进行转移矩阵计算，揭示土地转移空间分布特征。

2.2ESV 人为驱动因素识别

2.2.1HAI 测算

土地利用变化对生态系统服务功能产生一定的干扰，HAI 可反映人类活动对土地利用变化的影响，研究区作为皖江城市带承接产业转移建设的核心区域，人类活动在很大程度上受到社会经济建设政策的影响，为了更好的体现人类活动强度变化，本文基于 30m 空间分辨率土地利用数据测算 1km 格网 HAI，公式为：

$$HAI = \sum_{i=1}^n \frac{A_i \times P_i}{TA} \quad (3)$$

式中：HAI 为人类活动强度； A_i 为第 i 种土地利用类型的总面积； P_i 为第 i 种土地利用类型所反映的人为影响强度参数，本文基于前人研究结果，结合研究区地类相互转化的实际情况，最终采用 Lohani 清单法、Leopold 矩阵法和 Delphi 法的平均值对 P_i 参数赋值^[34]。其中耕地为 0.61、林地 0.12、草地 0.09、湿地 0.14、水域 0.12、建设用地 0.94、未利用地 0.08；TA 为评价单元内的土地利用类型总面积； n 为土地利用类型的数量。HAI 的值为 0~1，值越大表示人类活动对土地利用干扰越大，反之则越小。

2.2.2ESV 人为驱动因素地理探测

地理探测器是一种基于方差的探测空间分异性、揭示驱动因子的空间统计方法，可灵活探测数值型数据、定性数据，因此在环境科学、生态景观等方面广泛应用，本文运用地理探测器的因子探测和风险区探测探讨 HAI 对 ESV 时空演变的关联影响。

(1) 空间分异因子探测。

探测 HAI 对 ESV 空间分异的解释力，用 q 值度量^[35]，公式为：

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (4)$$

式中： $h=1, \dots, L$ 为分级区域； N_h 为分级区域样本数； N 为全区样本数； σ_h^2 为分级区域离散方差； σ^2 为全区离散方差。 q 的值为 0~1，值越大表示 HAI 对 ESV 空间分异的解释力越强，反之则越弱。

(2) 风险区探测。

风险探测用于判断 HAI 两个子区域间的 ESV 属性均值是否有显著的差别，用于搜索 ESV 保持不变的 HAI 异常变化区域，用 t 统计量来检验^[35]：

$$t = \frac{\bar{Y}_{h=1} - \bar{Y}_{h=2}}{\left[\frac{\text{Var}(\bar{Y}_{h=1})}{n_{h=1}} + \frac{\text{Var}(\bar{Y}_{h=2})}{n_{h=2}} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

式中： \bar{Y}_h 为 HAI 子区域 h 内 ESV 属性均值； n_h 为子区域 h 内样本数量；Var 表示方差。

3 结果分析

3.1 生态系统服务价值时空演变分析

3.1.1 时空演变特征

基于生态系统服务价值当量系数法，在 ArcGIS10.4 中利用栅格计算器计算得到 2000、2010 和 2020 年皖江城市带双核地区生态系统服务价值空间分布，运用栅格差值计算得到 2000~2010、2010~2020 年皖江城市带双核地区生态系统服务价值增减空间落位(图 3)。

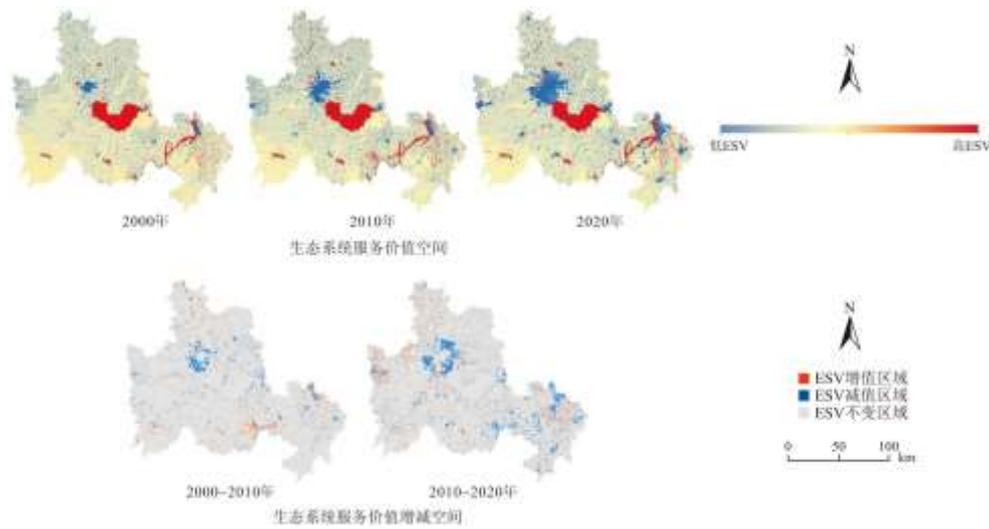


图 3 皖江城市带双核地区生态系统服务价值空间分布和价值增减空间落位

可以看出，生态系统服务价值高的区域主要集中于成片的水域以及林地，价值量偏低的情况出现在北部和东部的建设用地集中的区域。通过栅格统计求得皖江城市带双核地区 ESV2000 年 740.35 亿元、2010 年 737.92 亿元、2020 年 720.19 亿元，呈现持续下降的总体特征(表 1)，ESV 减幅不均匀，2000~2010 年 ESV 总量减少了 2.43 亿元，2010~2020 年 ESV 大幅度减少，总减量高达 17.73 亿元。从空间分布来看，皖江城市带双核地区生态系统服务价值各时段变化呈现空间异质性，既有减值区域，也有增值区域，2000~2010 年 ESV 减值区域主要集中在快速发展的城镇，其中合肥和芜湖市域最为集中，2010~2020 年 ESV 减值区域继续在城镇扩展，长江沿岸由 2000~2010 年 ESV 增值区转变为 2010~2020 年 ESV 减值区。2000~2020 年研究区 ESV 减值区域变化面积及变化量增长幅度相比于增值区域要大，因此 ESV 总体呈下降趋势。

表 1 皖江城市带双核地区生态系统服务价值变化

ESV 变化		2000~2010 年	2010~2020 年
ESV 总变量(亿元)		55.37	82.65
ESV 总减量(亿元)		2.43	17.73
ESV 减值分析	减值区面积(hm ²)	93521.97	155780.37
	减值区面积占研究区比例(%)	4.38	7.30
	减值量(亿元)	28.90	50.19
	减值量占总变量比例(%)	52.19	60.73
ESV 增值分析	增值区面积(hm ²)	71978.58	97110.72
	增值区面积占研究区比例(%)	3.37	4.55
	增值量(亿元)	26.47	32.46
	增值量占总变量比例(%)	47.81	39.27

3.1.2 时空演变原因分析

通过各时期 ESV 差值计算及转移矩阵计算, 得出皖江城市带双核地区生态系统服务价值变化主要贡献度, 并在 ArcGIS10.4 中对土地转移栅格分布数据进行重分类, 得到皖江城市带双核地区生态系统服务价值变化主要贡献土地转移空间落位(图 4)。

从 ESV 变化贡献总体来看, 2000~2020 年间研究区 ESV 持续下降是 ESV 减值幅度大于增值幅度的结果, 其根本原因是耕地转建设用地, 其贡献度由 2000~2010 年的 47.45% 提升到 2010~2020 年的 55.04%, 耕地转建设用地空间分布主要集中于合肥和芜湖市域的城镇区域, 尤其是在 2010 年承接产业转移示范区建设以来, 城市扩张占用了大量耕地; ESV 减少的次要原因是水域转耕地, 但空间分布上发生迁移, 2000~2010 年水域转耕地主要集中分布于巢湖岸线区域, 2010~2020 年在无为市长江流域尤为集中。ESV 增值贡献土地转移类型差异性显著, 2000~2010 年 ESV 增值主要贡献类型为耕地转水域, 贡献度达 54.42%, 土地转移分布较广, 无为市和长丰县较为突出, 这与无为市政府出台“水产跨越工程”、长丰县加强水库建设等经济建设发展政策密不可分, 建设用地转耕地、耕地转林地增值贡献次之; 2010~2020 年增值主要贡献类型为建设用地转耕地, 贡献度达 54.20%, 土地转移广泛分布各区县, 正是安徽省贯彻十九大“严格保护耕地”部署要求, 鼓励乡村实施“退宅还耕”政策, 增加有效耕地面积、扩大复垦利用的结果, 耕地转水域增值贡献次之。土地利用类型的转移正是人类活动的影响结果, 人类活动通过对土地利用发生变化从而对生态系统服务价值空间分异及变化产生影响。由此可知, 承接产业转移建设驱动下的城市扩张和开垦种田等人类活动侵占了大量的耕地和水域, 导致了皖江城市带双核地区生态系统服务价值的降低, 在转换过程中水域和耕地保护的人类活动对 ESV 价值量带来一定的弥补, 但总体入不敷出, 区域整体的 ESV 价值量损失较大。

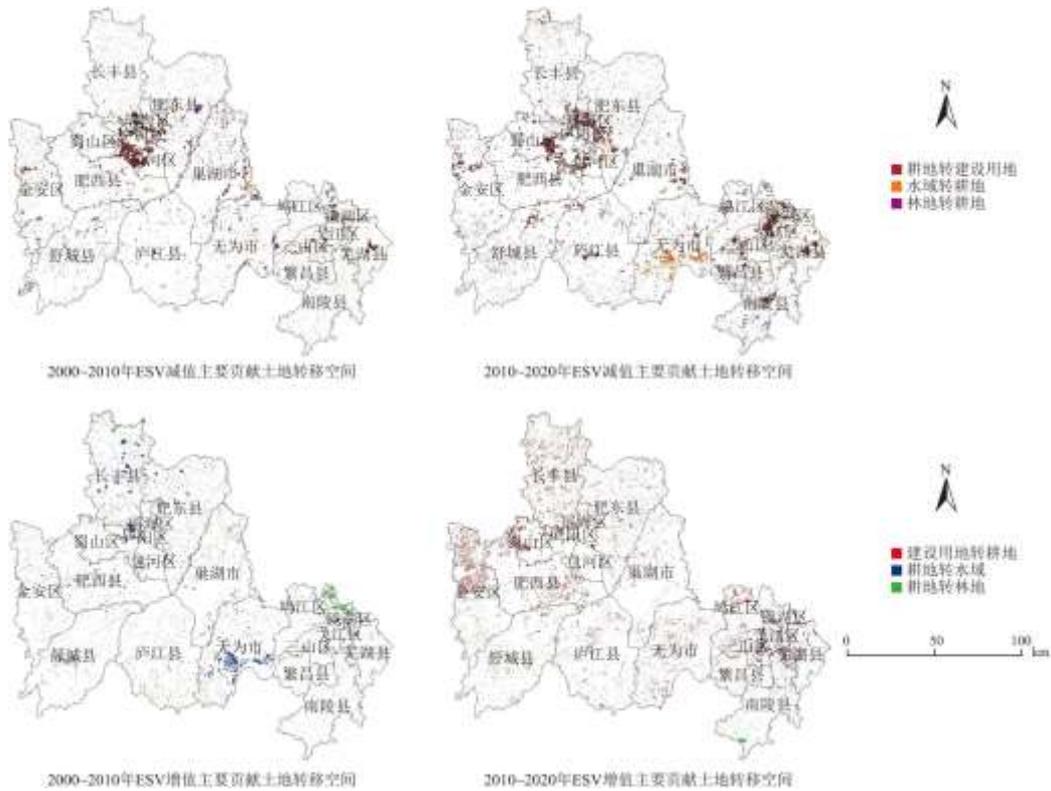


图4 皖江城市带双核地区生态系统服务价值变化主要贡献土地转移空间落位

3.2 人类活动强度对生态系统服务价值的影响分析

3.2.1 人类活动强度变化分析

利用公式(3)基于30m土地利用数据测算皖江城市带双核地区1km格网HAI,为搜索ESV与HAI时空关联的异常信息探究其关联性,在ArcGIS10.4中采用相等间隔分级法将HAI由小到大离散化分成6、8、10、12四种不同分级,经实验分析发现将HAI划分为10级地理探测效果最佳。研究区3个时期HAI最小值0.090,最大值达0.950,HAI平均值持续升高,2000、2010、2020年分别为0.529、0.531、0.535,总体来看,皖江城市带双核地区人类活动强度呈不断增强趋势,尤其是在2010年皖江城市带承接产业转移示范区建设以来,合肥、芜湖市域以及长江流域岸线该变化最为显著(图5)。对比图3和图5,可以发现人类活动变化规律及分布趋势与生态系统服务价值高低值相反,干扰强度最大的区域也是人类活动最频繁和环境质量退化最显著的区域。

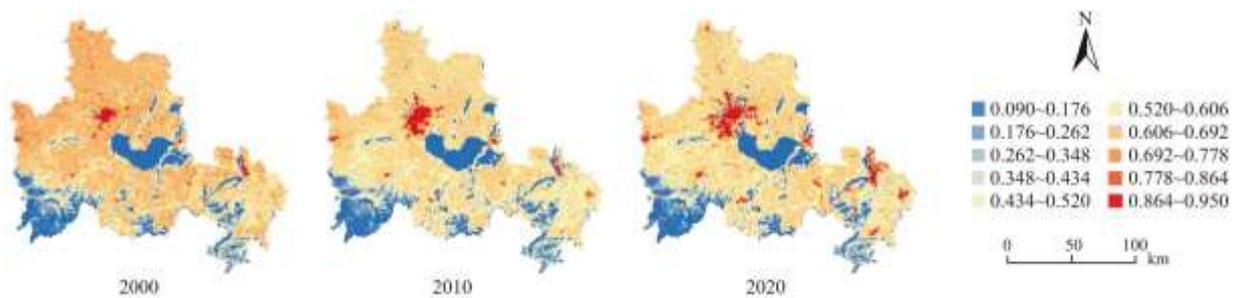


图5 皖江城市带双核地区HAI空间分布

3.2.2 基于地理探测器的因子探测分析

在 ArcGIS10.4 中按 1km 格网对 ESV 和 HAI 空间分布栅格数据进行空间网格化采样, 以 ESV 作为因变量, 以 HAI 为自变量, 基于 GeoDetector 工具得到皖江城市带双核地区 ESV 空间分异驱动因子探测结果 HAI_q 值 2000、2010、2020 年分别为 0.4005、0.4226、0.4526, 呈增加趋势, 说明 HAI 对皖江城市带双核地区 ESV 空间分异解释力在增强, 反映了人类活动强度对生态系统的干扰影响程度在加大。

3.2.3 基于地理探测器的风险区探测分析

风险区探测可判断各 HAI 分级区域对区域内 ESV 的均值是否存在显著差异, 如果行分级区域与列分级区域有显著性差异, 则标记为“Y”, 否则标记为“N”, “N”即表示 HAI 对应变化区域内 ESV 保持不变。利用 GeoDetector 的风险探测器对皖江城市带双核地区 ESV 空间分异进行 HAI 风险区探测, 2000 年探测结果均显示“Y”, 2010、2020 年风险区探测结果显示在 HAI 第 2、3 分级区域显示“N”, 其余位置均显示“Y”(表 2)。

整理 2000、2010、2020 年 3 个时期 HAI 分级区域 ESV 均值探测结果(图 6), 发现 HAI 增大, ESV 总体呈现递减态势, ESV 与 HAI 成负相关关系。HAI 在 0.090~0.176 和 0.606~0.950 范围内, ESV 减幅迅猛, 强烈的和微小的人类活动均会造成 ESV 迅速减少; 而 HAI 在 0.348~606 范围内 ESV 减幅较小且均匀, ESV 随 HAI 递增呈非均匀性递减。由表 2 和图 6 可知, 在 2010、2020 年 HAI 第 2、3 分级(HAI 范围 0.176~0.348)区域, ESV 均值基本保持不变, 因此风险区探测搜索得到 2010~2020 年 ESV 受 HAI 影响的 HAI 异常范围为 0.176~0.348, 通过土地利用转移矩阵分析, 该 HAI 异常范围空间内土地转移类型面积占比由高到低排序为: 无转移(83.99%)>转为耕地(5.69%)>转为林地(3.99%)>转为草地(2.63%)>转为建设用地(1.92%)>转为水域(1.62%)>转为湿地(0.16%)(图 7), 该区域内, 土地覆盖改变小, 因经济建设转为建设用地的土地仅占 1.92%, 其余发生变化的 15%土地因无为市推进矿山生态环境治理恢复土地复垦、丘陵山区退耕还林、合肥城市公园绿地建设、沿江沿巢湖水域湿地保护等有益于生态环境保护的人类活动所致, 因此 0.176~0.348HAI 范围内人类活动影响下 ESV 保持平衡。

表 2 探测 HAI 的统计显著性(置信水平 95%)

分级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2	Y									
3	Y	N								
4	Y	Y	Y							
5	Y	Y	Y	Y						
6	Y	Y	Y	Y	Y					
7	Y	Y	Y	Y	Y	Y				
8	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y			
9	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
10	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	

注：Y 表示 2 个 HAI 分级区域对区域 ESV 均值的影响具有显著性差异(置信度为 95%)；N 表示无显著性差异. HAI 分级 1~10 分别表示 0.090~0.176、0.176~0.262、0.262~0.348、0.348~0.434、0.434~0.520、0.520~0.606、0.606~0.692、0.692~0.778、0.778~0.864、0.864~0.950.

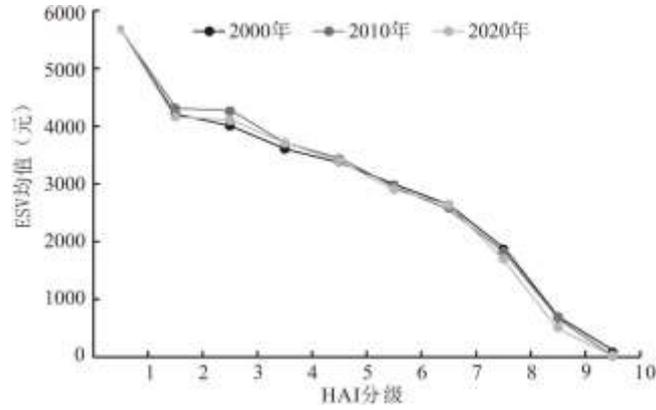


图 6 皖江城市带双核地区 HAI 分级区域 ESV 均值

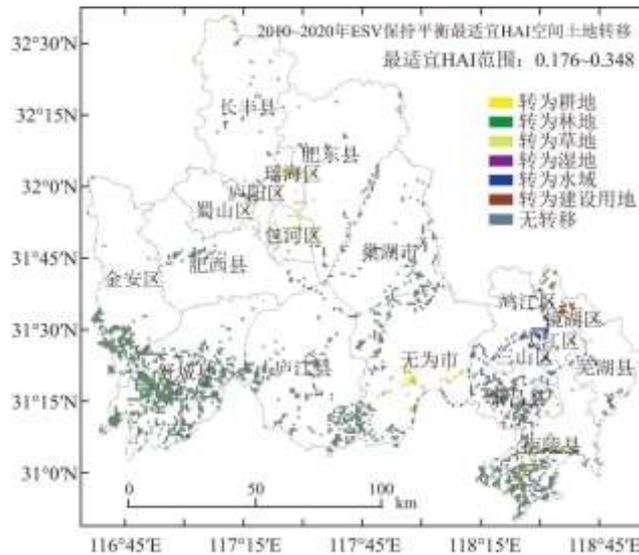


图 7 皖江城市带双核地区 ESV 保持平衡最适宜 HAI 空间土地转移

4 结论与讨论

4.1 讨论

4.1.1 人类活动与 ESV 时空关联影响

量化生态系统服务价值是研究 ESV 变化的主要手段，当量因子法因其数据量需求少、能直观反映 ESV 变化的优势得以广泛应用，地形、气温、降水等自然因素是决定关键生态系统服务形成的重要基础，短时间内不会发生改变，而人类活动短时间内加剧了土地利用变化，从而对生态系统服务影响更为显著，因此生态系统服务价值时空演变与人类活动关系分析成为生态系统服

务研究的热点内容之一。近年来,相关研究大多是使用空间自相关模型分析 ESV 和 HAI 时空演化的宏观尺度特征,但其演化过程中的局部异常信息难以被有效识别。本文研究结果表明,皖江城市带双核地区 ESV 持续下降的变化趋势与黄木易开展的巢湖流域生态系统服务价值变化结果一致,利用贡献度、转移矩阵和空间统计方法揭示 ESV 持续下降是承接产业转移背景下人类活动强度增强导致大量耕地转建设用地的结果,在宏观层面与南筓、李理、王庭辉等使用空间自相关模型开展的流域生态系统服务价值与人类活动关联分析结果一致,即总体 ESV 和 HAI 呈负相关关系,借助地理探测器模型风险区探测发现 2010~2020 年研究区 HAI 在 0.176~0.348 范围内出现异常,即该异常范围内 HAI 增强但 ESV 保持平衡,通过转移矩阵分析发现 ESV 和 HAI 时空演化的异常归因于有益于生态环境保护的人类活动。研究揭示人类活动导致的土地利用变化是改变区域 ESV 最直接的方式,通过识别 ESV 和 HAI 时空演化过程中的局部异常信息,应当重新审视人类活动,因此皖江城市带双核地区在加大承接产业转移建设的力度同时,需树立生态文明理念,坚持“生态优先,绿色承接”原则,保护耕地适度开发,科学合理规划人类活动,协调土地利用与保护间的矛盾,节约集约利用资源,引导人类活动向生态系统服务价值保值和增值方向发展。本研究以 HAI 空间因子为数据支撑进行 ESV 时空演变地理探测驱动分析,弥补了 ESV 和 HAI 时空演化过程中局部异常信息难以识别的不足,不仅为皖江城市带在“三地一区”高质量生态经济建设、生态系统调控和优化提供科学依据,也可为其它承接产业转移区域的生态系统服务价值变化及驱动研究提供参考。

4.1.2 政策建议

在承接产业转移建设背景下,皖江城市带双核地区城镇化进程加快,不断增强的人类活动致使区域 ESV 下降,研究揭示大量耕地转为建设用地是区域 ESV 下降的根本原因,但 ESV 和 HAI 时空关联的局部异常信息反映,开展有益于生态环境保护的人类活动有利于维持 ESV 平衡。据此,提出以下建议:

(1)严格执行耕地保护政策,严控建设用地占用耕地量,提升建设用地集约利用水平,最大程度减少耕地占用,加大乡村“退宅还耕”力度,增加有效耕地面积。

(2)在快速发展城镇化区域加强公园绿地建设,提升公园绿地服务半径,丰富城市生态系统多样化,将生态文明建设融入城市绿色发展。

(3)在江淮丘陵区域,依托林地资源,发展林下种植、养殖等产业,在沿江平原区域,增加水域面积,发展特色水产养殖产业,实现社会、经济、生态的协调发展。

生态系统提供供给、调节、支持、文化等不同类型服务,本文仅从 ESV 整体角度探讨了皖江城市带双核地区在人类活动影响下的 ESV 时空演变,人类活动与 ESV 平衡协调的测算、生态系统不同类型服务功能价值变化的人类活动影响及权衡协同关系研究,将利于挖掘区域 ESV 变化的深层原因,以便科学合理规划人类活动,指导经济建设向高质量发展,因此探究各类型 ESV 与 HAI 的权衡协同关系变化及驱动机制将是下一步的研究重点。

4.2 结论

本文以承接产业转移背景下的皖江城市带双核地区为案例,基于土地利用空间分布数据,计算 ESV 和 HAI,利用贡献度、转移矩阵和空间统计方法分析 2000~2020 年 ESV 演变特征及原因,并以 1km 格网作为评价单元,应用地理探测器模型研究人类活动对 ESV 的影响,主要结论如下:

(1)皖江城市带双核地区 ESV 呈现持续下降的总体特征,时空变化显著,下降幅度不均匀,2000~2010 年减幅小,2010~2020 年减幅显著,集中分布快速发展城镇化区域。

(2)ESV 下降是 ESV 减值幅度大于增值幅度的结果,根本原因是耕地转建设用地造成 ESV 大幅度减少,ESV 发生增长主要是由于耕地转水域(2000~2010 年)和建设用地转耕地(2010~2020 年)。

(3)因子探测 HAI_q 值呈增加趋势,较好地解释了 ESV 空间分异现象,且两者呈负相关关系,风险区探测搜索到 2010~2020 年 HAI 在异常范围 0.176~0.348 内 ESV 保持平衡,更好地了解人类活动对生态系统服务价值的影响,为认识生态系统服务价值变化背后的驱动机制提供了必要的参考。

参考文献:

- [1]COSTANZA R,D ARGE R,DEGROOT R,et al.The value of the world' s ecosystem services and natural capital [J].Nature,1997,387(6630):253-260.
- [2]BERIHUN M L,TSUNEKAWA A,HAREGEWEYN N,et al.Changes in ecosystem service values strongly influenced by human activities in contrasting agro-ecological environments[J].Ecological Processes,2021,10(1):10:52.
- [3]LIU Z T,WU R,CHEN Y X,et al.Factors of ecosystem service values in a fast-developing region in China:Insights from the joint impacts of human activities and natural conditions [J].Journal of Cleaner Production,2021,297:126588.
- [4]GUO C Y,GAO J H,ZHOU B Y,et al.Factors of the ecosystem service value in water conservation areas considering the natural environment and human activities:A case study of funiu mountain,China [J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2021,18(21):11074.
- [5]FAN X,YU H R,TIANDO D S,et al.Impacts of human activities on ecosystem service value in arid and semi-arid ecological regions of China [J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2021,18(21):11121.
- [6]ASSESSMENT M E.Ecosystems and Human Wellbeing:Biodiversity Synthesis [M].Washington D C:Island Press,2005.
- [7]殷楠,王帅,刘焱序.生态系统服务价值评估:研究进展与展望[J].生态学杂志,2021,40(1):233-244.
- [8]刘慧明,高吉喜,刘晓,等.国家重点生态功能区 2010-2015 年生态系统服务价值变化评估[J].生态学报,2020,40(6):1865-1876.
- [9]张发,玉素甫江·如素力,艾尔肯·图尔逊.基于土地利用的博斯腾湖流域生态系统服务价值时空变化[J].生态学报,2021,41(13):5254-5265.
- [10]丁梦婷,裴凤松,胡引翠,等.基于 LUCC 的江苏省生态系统服务价值时空变化特征研究[J].生态学报,2020,40(19):6801-6811.
- [11]陈万旭,刘志玲,李江风,等.长江中游城市群生态系统服务和城镇化之间的空间关系研究[J].生态学报,2020,40(15):5137-5150.

-
- [12]杨振民, 刘新平. 乌鲁木齐市生态系统服务价值时空演变研究[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(4):226-236.
- [13]熊鹰, 张方明, 龚长安, 等. LUCC 影响下湖南省生态系统服务价值时空演变[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(6):1397-1408.
- [14]王宁, 杨光, 韩雪莹, 等. 内蒙古 1990-2018 年土地利用变化及生态系统服务价值[J]. 水土保持学报, 2020, 34(5):244-250.
- [15]陈婷, 张仲伍, 梁少民, 等. 小浪底库区生态系统服务价值研究[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(8):226-236.
- [16]荣益, 李超, 许策, 等. 城镇化过程中生态系统服务价值变化及人类活动影响的空间分异——以黄骅市为例[J]. 生态学杂志, 2017, 36(5):1374-1381.
- [17]李益敏, 段亚苹, 蒋德明, 等. 人类活动条件下兰坪县土地利用景观格局及生态系统服务价值[J]. 水土保持研究, 2019, 26(1):293-300.
- [18]南笛, 杨子寒, 毕旭, 等. 生态系统服务价值与人类活动的时空关联分析——以长江中游华阳河湖群地区为例[J]. 中国环境科学, 2018, 38(9):3531-3541.
- [19]李理, 朱连奇, 朱文博, 等. 生态系统服务价值与人类活动强度关联性分析及权衡——以淇河流域为例[J]. 中国环境科学, 2020, 40(1):365-374.
- [20]王庭辉, 王喜, 秦耀辰, 等. 丹江口库区生态系统服务价值与人类活动时空关联分析[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(2):330-341.
- [21]刘永超, 李加林, 袁麒麟, 等. 中美港湾流域生态系统服务价值变化比较——以浙江象山港与佛罗里达坦帕湾为例[J]. 地理研究, 2019, 38(2):357-368.
- [22]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.
- [23]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):2797-2813.
- [24]姜晗, 吴群. 基于 LUCC 的江苏省生态系统服务价值评估及时空演变特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(11):2712-2725.
- [25]安国强, 韩颖新, 高宁, 等. 山东省生态系统服务价值量及均衡度的空间分异规律[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(10):9-18.
- [26]贾毅, 张松林. 南水北调中线工程途经区生态服务价值的时空变化[J]. 生态学报, 2021, 41(18):7226-7237.
- [27]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, 30(8):1243-1254.

[28]黄木易,方斌,岳文泽,等.近20a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.

[29]王崇,徐京京,周亮广,等.安徽省生态系统服务价值变化及其趋势预测[J].南京林业大学学报(自然科学版),2015,39(4):88-94.

[30]汪瑞,何如海,栾倩,等.安徽省生态系统服务价值估算与时空分异[J].安徽农业大学学报,2015,42(4):613-620.

[31]王崇,王帅帅,吴见,等.基于土地利用变化的安徽省生态服务价值研究[J].水土保持通报,2015,35(4):242-247.

[32]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.

[33]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.

[34]严恩萍,林辉,王广兴,等.1990-2011年三峡库区生态系统服务价值演变及驱动力[J].生态学报,2014,34(20):5962-5973.

[35]王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.