# 基于地理探测器的苏州非建设用地转用对 ESV 变化格局的影响*

吴雨菲 吴殿鸣 邵大伟

苏州科技大学建筑与城市规划学院 江苏苏州 215011

**摘要**：探究非建设用地转用对 ESV 变化格局的影响，是实现城市土地资源高效利用和空间科学规划的前提。以 1995—2020 年的 6 期 Landsat TM/ETM 遥感影像为主要数据源，采用地理探测器、土地利用转移矩阵等方法，在镇域尺度揭示苏州非建设用地转用对 ESV 变化格局的影响。结果表明：1）ESV 整体呈上升趋势，形成“以建成区为中心，中心弱外围强”的空间特征；2）耕地转出、水域转入对 ESV 变化格局的影响最强，城市扩张及“退圩还湖”“退耕还湖”等政策是主因；3）水域转入对调节服务、文化服务的影响持续最高，耕地转出对供给服务、支持服务影响始终最大；4）风险区位于玉山镇、花桥镇等经济强镇及沙家浜镇、巴城镇等水资源密集区，其中耕地风险区面积占比最大，其次为水域风险区。因此，未来建成区内需平衡生态空间、外围实施生态修复工程，同时严格坚守耕地红线、强化水域蓝线约束力，实现生态环境保护和生态空间的合理规划。

**关键词**：非建设用地转用；生态系统服务价值；时空格局；地理探测器

DOI：10.12169/zgcsly.2024.02.27.0001

## Impact of Conversion of Non-construction Land on ESV Change Pattern in Suzhou Based on Geographical Detector

Wu Yufei Wu Dianming Shao Dawei

(School of Architecture and Urban Planning, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, Jiangsu, China)

**Abstract**: Exploring the impact of the non-construction land conversion on the ESV change pattern is the prerequisite for achieving efficient land resources utilization and scientific spatial planning. Taking the six-phase Landsat TM/ETM remote sensing images from 1995 to 2020 as the main data source, this study adopts the methods including land use transfer matrix and geographical detector to reveal the impact of non-construction land conversion on the pattern of ESV changes at the town scale in Suzhou. The results indicate that: 1) There is generally a growing trend in ESV, shaping a spatial pattern characterized with “built areas centered, low at center and high in periphery”; 2) Cultivated land conversion to water area has the strongest impact on the ESV change pattern, and urban expansion as well as policies such as “returning polders to lakes” and “returning farmland to lakes” are the main driving factors; 3) The conversion to water areas imposes continuously the highest impact on regulatory services and cultural services, while the farmland conversion has the largest impact on supply services and support services; and 4) The risk areas are in economically strong towns such as Yushan Town and Huaqiao Town, as well as in

收稿日期：2024-02-27

* 基金项目：国家自然科学基金项目（51908392）

第一作者：吴雨菲（1999- ），女，硕士生，研究方向为园林与景观设计。E-mail：wyf9903@163.com

通信作者：吴殿鸣（1984- ），女，博士，副教授，研究方向为风景园林规划设计。E-mail：wudmsz@163.com

water resource intensive areas such as Shajiabang Town and Bacheng Town, wherein the farmland risk dominates, followed by water area risk. Within the built area, there is a need to balance ecological spaces, while in the periphery, ecological restoration projects should be implemented. It is imperative to strictly uphold the red line for farmland protection and strengthen the binding force of the blue line for water bodies, in order to achieve ecological environment protection and rational planning of ecological space.

**Keywords**: conversion of non-construction land; ecosystem service value; spatiotemporal pattern; geographical detector

生态系统服务价值（Ecosystem Service Value，ESV）是生态系统服务能力的量化估计[1]，对探究土地利用变化及优化国土空间格局具有重要意义。国外 ESV 研究起步较早，1997 年 Costanza 等[2]对全球 ESV 进行了量化评估，奠定了估算原理基础，随后相关学者主要从定义与分类[3-4]、生态系统服务与社会发展[5]等方面进行研究。谢高地等[6]在 2003 年构建了中国 ESV 当量因子表，为国内核算及演化研究提供了基础性依据。相关学者重点围绕 ESV 较高的林地、湿地及水域等类型[7-8]，在区域、流域及市域等大尺度下对 ESV 时空特征进行探究[9-11]，并逐步利用 Meta 回归模型、多元回归等方法[12-13]，深入挖掘 ESV 的主要影响因素。

非建设用地是城市发展的生态本底和最直接的生态资源供给来源。在快速工业化与城镇化进程中，ESV 随着非建设用地规模结构的转变而变化，非建设用地转用对 ESV 的影响逐渐引发关注。现有非建设用地转用对 ESV 影响研究多从土地利用/覆被变化（Land Use/Cover Change，LUCC）的视角下探讨[14-16]。然而，研究关注数量方面较多，空间规律则较少。与此同时，文化服务、支持服务、调节服务及供给服务作为生态系统服务功能的构成类型，各用地类型的变化对生态系统服务功能价值类型的影响也存在明显差异，但仍缺乏非建设用地转用视角下的关注，不利于从功能服务类型细化、空间作用关系层面揭示对 ESV 的影响。非建设用地是我国城乡用地分类中的法定类型，开展非建设用地转用对 ESV 变化格局影响的研究，有利于国土空间背景下的自然资源管理。镇域为国土空间总体规划中最基本单元，以镇域为尺度开展非建设用地转用对 ESV 变化格局的研究，可从行政管理层面促进规范政策落地、土地资源的保护利用，提升生态系统服务功能。

为此，本研究选取典型区域，借助遥感影像等数据，利用地理探测器、土地利用转移矩阵等方法，揭示非建设用地转用对 ESV 变化格局的影响，以期从时空层面深化非建设用地保护、ESV 相关理论，提供生态空间规划和土地资源持续利用的支持依据。

## 1 研究区域概况

苏州地处长江三角洲中部，是长江经济带重要中心城市之一。苏州城镇化发展迅速，2020 年城镇化率超过 85%，远高于 63.89%的全国同期水平。1995—2020 年苏州建成区面积共计增加415 $km^2$，增加面积为 1995 年建成区面积(66 $km^2$)的 6 倍。

为保证单元的可操作性、一致性，以苏州 2020 年行政区划为依据对节点年份进行统一，确定 52 个镇、42 个街道为研究单元。选用 1995—2020 年 6 期 Landsat TM/ETM 遥感影像作为基础数据源，以《土地利用现状分类》（GB/T21010-2017）为依据，将非建设用地类型进行细分。

## 2 研究方法

### 2.1 ESV 核算

以 Costanza 等[2]关于 ESV 的估算方法和谢高地等[17]制定的中国 ESV 当量表为基础，查阅《苏州统计年鉴 2021》，计算出苏州 ESV 当量因子的经济价值量为 5 673.50 元/（$hm^2$ · a），根据修正后的苏州单位面积 ESV 当量和各地类面积得到研究区 ESV。其计算公式为：

$$ESV = \sum (A_k \times VC_k) \quad (1)$$

$$ESV_f = \sum (A_k \times VC_{fk}) \quad (2)$$

式（1）~（2）中：$ESV$ 表示研究区 ESV 总量；$A_k$为第 $k$ 种土地利用类型的面积；$VC_k$是第 $k$ 种土地利用类型的 ESV 系数；$ESV_f$为土地生态系

统服务价值的第 $f$ 种；$VC_{fk}$ 为 $k$ 各土地利用类型的 $f$ 项服务价值系数。

### 2.2　土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵可直观表示 1995—2020 年苏州非建设用地的面积变化和转移方向。其数学形式为：

$$S_{ij}=\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \tag{3}$$

式（3）中：$S$ 代表面积；$n$ 代表转移前后的用地类型数；$i$、$j$（$i$，$j$=1，2，…，$n$）分别代表转移前与转移后的用地类型；$S_{ij}$ 表示转移前的 $i$ 地类转换成转移后的 $j$ 地类的面积。

### 2.3　地理探测器

地理探测器是测度空间分异并探究其潜在影响因素的空间分析模型。

1）因子探测。用于揭示因变量 $Y$ 的空间分异性及因子 $X$ 对因变量 $Y$ 的空间分异程度。计算公式如下：

$$q=1-\frac{1}{N\sigma^2}\sum_{n=1}^{L}N_h\sigma_h^2 \tag{4}$$

式（4）中：$h=1$，2…；$L$ 是变量 $Y$ 或者因子 $X$ 的分层；$N_h$、$N$ 分别为 $h$ 及全区单元数；$\sigma_h^2$、$\sigma^2$ 分别为层 $h$ 与全区 $Y$ 值的方差。

2）交互探测。探究两两因子（$X_i$ 和 $X_j$）之间的交互如何影响因变量（$Y$）的解释力，其结果是增加还是减少（表 1）。

**表 1　地理探测器因子交互类型**

| 交互类型 | 判断依据 |
|---|---|
| 非线性减弱 | $q(x_i\cap x_j)<\min(q(x_i),q(x_j))$ |
| 双因子增强 | $q(x_i\cap x_j)>\max(q(x_i),q(x_j))$ |
| 单因子非线性减弱 | $\min(q(x_i),q(x_j))<q(x_i\cap x_j)<\max(q(x_i),q(x_j))$ |
| 非线性增强 | $q(x_i\cap x_j)>q(x_i)+q(x_j)$ |
| 相互独立 | $q(x_i\cap x_j)=q(x_i)+q(x_j)$ |

3）风险探测。用以判断两个子域之间的属性均值有无显著差异，并通过统计量 $t$ 进行检验。

$$t_{\bar{y}h=1-\bar{y}h=2}=\frac{\bar{Y}_{h=1}-\bar{Y}_{h=2}}{\left[\frac{Var(\bar{Y}_{h=1})}{n_{h=1}}+\frac{Var(\bar{Y}_{h=2})}{n_{h=2}}\right]1/2} \tag{5}$$

式（5）中：$\bar{Y}_h$ 表示区域 $h$ 内的属性均值；$n_h$ 为子区域 $h$ 内样本数量；$Var$ 表示方差。

4）生态探测。用于比较两因子 $X1$ 和 $X2$ 对属性 $Y$ 的空间分布的影响是否有显著差异，以 $F$ 统计量进行衡量。

$$F=\frac{N_{X1}(N_{X2}-1)SSW_{X1}}{N_{X2}(N_{X1}-1)SSW_{X2}} \tag{6}$$

$$SSW_{X1}=\frac{1}{N\sigma^2}\sum_{h=1}^{L_1}N_{h\sigma_h^2} \tag{7}$$

$$SSW_{X2}=\frac{1}{N\sigma^2}\sum_{h=1}^{L_2}N_{h\sigma_h^2} \tag{8}$$

式（6）~（8）中：$N_{X1}$ 和 $N_{X2}$ 分别表示两个因子 $X1$ 和 $X2$ 的样本数量；因子 $X1$ 和 $X2$ 产生的分层内部方差总和分别表示为 $SSW_{X1}$ 和 $SSW_{X2}$；$L_1$ 与 $L_2$ 用于表示变量 $X1$ 和 $X2$ 分层数量。

## 3　结果与分析

### 3.1　ESV 变化时空格局特征

#### 3.1.1　ESV 数量变化特征

由表 2 可知，苏州 ESV 整体呈上升趋势，2015—2020 年变化最为显著。1995—2020 年 ESV 由 1044.9 上升至 1 060.1 亿元，共增加 15.12 亿元。

ESV 变化呈“W 型”波动变化趋势。1995—2000 年、2000—2005 年及 2010—2015 年 ESV 分别下降 0.2%、0.63%和 0.44%，其中耕地、湿地转出面积分别为 38.17 万 $hm^2$、16.59 $hm^2$，是 2000—2005 年 ESV 降低的主要原因；2005—2010 年、2015—2020 年 ESV 增加，其中在 2015—2020 年，水域、林地转入面积分别为 4 059 $hm^2$、3 $hm^2$，且水域、林地 ESV 系数值较高，分别为 26.08、12.39，二者共同推动 ESV 增加。

#### 3.1.2　ESV 空间变化特征

由图 1 可知，苏州 ESV 变化形成“以建成区为中心，中心弱外围强”的空间特征。ESV 变化低值区主要位于各市辖区建成区，区域内部建设

表 2 1995—2020 年苏州 ESV 数量变化 亿元/$hm^2$ · a

| 土地利用类型 | ESV 变化 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1995—2000 年 | 2000—2005 年 | 2005—2010 年 | 2010—2015 年 | 2015—2020 年 | 1995—2020 年 |
| 耕地 | −8. 45 | −17. 17 | −41. 40 | −4. 57 | −2. 50 | −74. 10 |
| 林地 | −0. 38 | 0. 13 | −0. 24 | −0. 02 | 16. 66 | 16. 16 |
| 草地 | 0. 03 | −0. 01 | −0. 12 | 0. 07 | 0. 02 | 0. 00 |
| 水域 | 7. 69 | 10. 45 | 48. 89 | −3. 17 | 11. 58 | 75. 44 |
| 未利用土地 | 0. 00 | 0. 00 | 0. 01 | −0. 01 | 0. 00 | 0. 00 |
| 湿地 | −1. 42 | −0. 06 | −4. 10 | 3. 11 | 0. 09 | −2. 38 |
| 合计 | −2. 52 | −6. 66 | 3. 04 | −4. 59 | 25. 85 | 15. 12 |

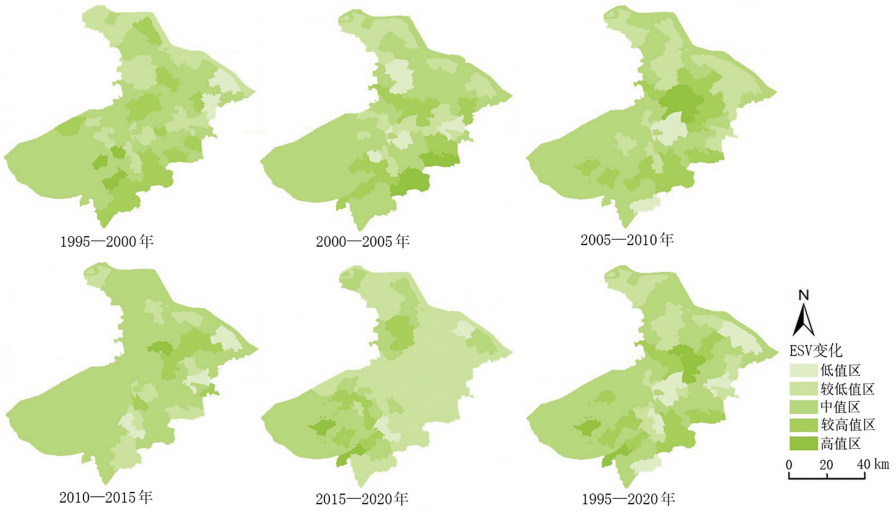



图 1 1995—2020 年苏州 ESV 变化的空间演化

成熟，非建设用地转用量少，对 ESV 变化影响小，分别以工业园区、昆山经济技术开发区、花桥镇等为典型镇域；ESV 变化高值区域分布于建成区外围，因建设区域扩张导致生态空间受到挤压，使得沙家浜镇、巴城镇等镇域 ESV 变化显著。

总之，5 个时段内，研究区 ESV 变化以中值、较低值分布最多，高值、低值分布少。这是因为《关于大力推进节约集约用地制度建设的意见》等一系列文件出台，进一步加强苏州土地节约集约利用、避免建设用地盲目扩张，非建设用地转为建设用地面积减少，ESV 变化逐渐向中值、较低值区域扩大，以锦溪镇、淀山湖镇、大新镇等为典型代表。

## 3. 2 因子探测

### 3. 2. 1 非建设用地转用对 ESV 变化格局的影响

由图 2 可知，非建设用地转用对 ESV 变化格局的影响呈先缓慢增加后快速减退的“倒 V 型”趋势。1995—2015 年，非建设用地转用对 ESV 变化格局的影响力呈现缓慢增加趋势，其中最大值为 0. 32，随后快速降至 0. 24。2006 年开始，《苏州市环境保护“十一五”规划》《关于加强耕地保护和改进占补平衡的意见》等相关政策的实施，加大了“退耕还湖”“耕地占补平衡”力度，确保了水域面积不断增加和耕地面积的整体稳定，促使非建设用地转用对 ESV 变化格局的影响力逐步增加；2015—2020 年，随着《苏州市城市总体规划（2011—2020 年）》划定了城市开发边界，加大了存量用地挖潜力度，提高了土地利用率，非建设用地转用面积明显减少，对 ESV 变化格局的影响力下降。

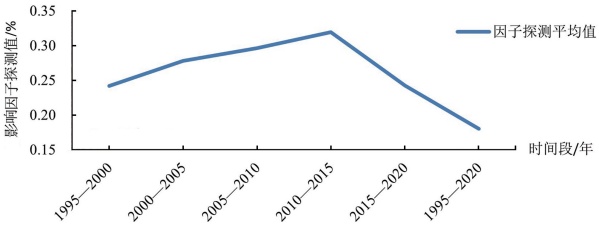



图 2 1995—2020 年苏州非建设用转用对 ESV 变化格局影响走势

### 3. 2. 2 非建设用地各用地类型转用对 ESV 变化格局的影响

根据公式（3）~（4）的计算结果，水域转入和耕地转出对 ESV 变化格局的影响最大，二者

对 ESV 变化影响均值分别高达 0.62、0.60，且均呈正向作用。其中，1995—2000 年、2005—2020 年水域转入对 ESV 变化格局的影响均最大；2000—2005 年耕地转出取代水域转入成为主导。

1995—2000 年，由于“苏州市水环境综合治理工程”等项目开展，水域在此阶段共转入 2 695.81 $hm^2$，对 ESV 变化影响最大；2000—2005 年，在“一体两翼”格局推动下，新区、园区耕地转出量分别为 6 424.19 $hm^2$、1.2 万 $hm^2$，耕地转出取代水域转入变为对 ESV 变化格局的最大影响因子；2006 年后“退圩还湖”“退田还湖”及《打造最佳城市水环境三年行动计划》相继实施，开展恢复太湖、尹山湖水域及沟通 3 条断头浜水系，其中仅还湖面积就高达 178.26 $hm^2$，且水域生态系统服务系数为 13.5，高于耕地系数 4.2，使得水域转入对 ESV 变化格局的影响持续增强。

#### 3.2.3　非建设用地转用对生态系统服务类型的影响

非建设用地转用对生态系统服务类型的因子探测结果显示：1995—2000 年文化服务、供给服务及支持服务的最大影响因子为耕地转出，调节服务的最大影响因子为水域转入；2000 年后，水域转入对文化服务、调节服务的影响最大，耕地转出为支持服务、供给服务最强影响因子，且二者均呈促进作用。

1995—2000 年，苏州落实《苏州市城内河道治理规划》，越溪街道、横扇街道水域转入面积最大（1 149 $hm^2$），其中调节服务中水域因子的水源涵养、废物处理影响系数较大为 21.8，因此水域转入对调节服务影响最高（0.21）；随着建设用地扩张，耕地面积大量转为建设用地，耕地转出对文化、供给及支持服务影响均最大，影响值分别为 0.93、0.83 及 0.93。2000—2020 年，水域转入对调节服务、文化服务的影响值最大，分别为 0.69、0.75，耕地转出分别对支持服务、供给服务的影响值为 0.41、0.70，均最大，这主要是因为“退圩还湖”及《生态美丽河湖建设行动计划》的启动，清退东太湖圈圩、元荡湖水系互通，促使水域转入成为调节服务、文化服务最强影响因子；耕地对供给服务、支持服务的影响系数虽仅为 0.62 和 1.23，但随着巴城镇、玉山镇等镇域空间扩张，耕地大面积转为建设用地，同时尹山湖、尚湖“退耕还湖”等政策的实施进一步使耕地转出面积增加，因此二者影响最大。

### 3.3　交互探测

交互探测结果显示，耕地转出∩水域转入对 ESV 变化格局的影响最强，影响值高达 0.78。1995—2000 年、2005—2010 年和 2010—2015 年仍为耕地转出∩水域转入影响最高，分别为 0.93、0.88 和 0.89；在 2000—2005 年、2015—2020 年，则变为耕地转出∩林地转出对 ESV 变化格局的影响最大，为 0.94、0.84。

耕地转出∩水域转入、耕地转出∩林地转出呈现出交替变化的特点：1995—2000 年，耕地转出∩水域转入对 ESV 变化格局影响最大，主要受工业园区建设、太浦河贯通的影响，耕地被挤占、水域面积扩大；2000—2005 年，耕地转出∩林地转出影响强烈，这是因为城镇用地开发造成耕地面积被挤压，临湖经济开发区、光福镇等林地被农业等生产用地占用，其中耕地、林地分别转出 4 万 $hm^2$、1 327 $hm^2$；2005—2015 年耕地转出∩水域转入对 ESV 变化格局影响最大，这是因为“保护古城水乡特色”“苏州重心东移接轨上海”相继实施，推动横泾街道等低洼湖荡地区进行大规模还湖及娄葑镇等工业用地开发建设，水域转入、耕地转出面积增加，二者交互对 ESV 变化格局的影响显著；2015—2020 年耕地转出∩林地转出表现出强解释力，这是因为在《苏州市吴中区 2015 年度第 2 批次村镇建设用地的批复》政策作用下，郭巷街道、越溪街道等耕地转为农村居民建设点；同时，吴中林场因景区开发进行“毁绿挖池”导致林地转出面积增加，共同促使 ESV 变化格局影响因子的转变。

### 3.4　风险探测

风险探测结果显示，ESV 变化格局的风险指数与建成区距离呈正比，风险区域呈现蔓延、差异加剧的变化趋势。水域转入、耕地转出及林地转出的风险区域在研究周期内始终以高、较高风险区占比最大，分别依次对应：以环湖开发为中心的沙家浜镇、七都镇；以工商业建设为主的玉山镇、娄葑镇；进行重点城镇斥地的辛庄镇、张浦镇等。湿地转出自 2005 年起，由较高值、较低

值逐渐向中值区域扩大，在 2015—2020 年变为高值区域最大，这是因为太湖周边湿地被大量围垦，且临湖且湿地资源密集的横泾街道为主要高风险区域。草地、未利用土地转入风险区域持续存在，1995—2005 年风险区域存在高值、低值差异，在 2005 年后逐渐向中值区域扩大，以草地敏感性强、未利用土地保留率低的阳澄湖镇、金庭镇为典型中风险区域。

### 3.5 生态探测

根据公式（6）~（8）计算结果，水域转入为 ESV 变化格局的主导因子，1995—2020 年水域转入面积共 34 万 $hm^2$，并和耕地转出、林地转出、湿地转出、草地转入、未利用土地转入的空间作用差异明显。

水乡苏州水域面积占比大、空间分布广泛，“退圩还湖”“退田还湖”等水域保护政策的实施促进水域转入面积增加。分阶段看：1995—2005 年，水域转入和耕地转出、林地转出、湿地转出、草地转入及未利用土地转入之间存在明显的空间作用差异，数量方面，由于水域面积受“水环境综合治理工程”等项目影响，水域转入面积大量增加；空间方面，在越溪街道、汾湖镇等镇域，由于《江苏省太湖流域水环境综合治理实施方案》对太湖、长江水域进行“互联互通，畅引畅排”，水系沟通、河道拓宽，也使水域转入面积的增加。2005—2020 年，水域转入和林地转出、草地转入、未利用土地转入及湿地转出的空间作用差异均较大，该时段内阳澄湖“退养还湖”尹山湖“退田还湖”等水域保护措施进一步促使水域面积增加。

## 4 讨论

本研究中水域转用、耕地转用对苏州 ESV 变化格局的影响最大，这与徐昔保等[18]的研究结论一致，而不同研究区域由于非建设用地类型分布情况及转用量有所差异，对 ESV 变化格局影响的主因也有所区别，如珠三角、陕北地区就分别以林地、草地转用的影响最大[19-20]。苏州 ESV 变化时空格局分布差异显著，主要是受相关政策影响，其中“退耕还林”“退耕还湖”等政策是主因，这与贲薛晨和余成[21]的研究结果相符。然而，张学文和郭晓华[22]发现，湖北石首市的 ESV 变化格局影响最大的为“河道治理”，董亚坤等[23]发现，“退耕还湿”对洱海流域的 ESV 变化格局影响最大，二者的研究结果与本研究结果有所区别，这可能是政策因素的区域性特征所致。

在空间规律、作用程度方面，本研究进行了拓展，突破以往的研究尺度，将研究尺度聚焦镇域，并对 ESV 变化格局影响因子进行探究，结果发现非建设用地转用对 ESV 变化格局的影响主要受城镇建设及政策影响，建成区外围及水资源密集区风险指数高，其中耕地转出风险区分布较广、其次为水域。但由于自然环境、研究区域的不同，高风险区域的成因也有差异[24]。

ESV 变化格局受多种因子影响，而多因子的耦合机制及确定各因子的贡献程度的研究相对较为复杂，本文着重研究非建设用地转用对 ESV 变化格局的影响，并未在自然、社会因素方面进行深入探究，今后研究可综合全要素及影响机制探讨苏州 ESV 变化格局的影响。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

1）ESV 整体呈上升趋势，形成“以建成区为中心，中心弱外围强”的空间特征。研究周期内，ESV 略有增加，呈“W 型”趋势，其中 2015—2020 年 ESV 增量最大。

2）ESV 变化格局主要受水域转入和耕地转出的影响。非建设用地转用对 ESV 变化格局的影响呈“倒 V 型”趋势，水域转入为最强影响因子，仅在 2000—2005 年为耕地转出影响最大，主要缘于“退耕还湖”“退圩还湖”等生态政策及“一体两翼”城市空间规划的影响与推动。

3）调节服务、文化服务的最强影响因子持续为水域转入，供给服务、支持服务最大影响因子始终为耕地转出，且正向促进作用显著。调节服务、文化服务中的水域因子系数及水域转入量大，水域转入影响持续最强；耕地转出虽在供给、支持服务内系数不大，但受城镇化建设影响耕地转出面积大，影响始终最为突出。

4）非建设用地转用对 ESV 变化格局影响的风险区位于经济强镇及水资源密集区，以耕地面

积的风险区占比最大，其次为水域。

### 5.2　建议

1）建成区内平衡生态空间，外围实施生态修复工程。建成区 ESV 变化微弱，外围 ESV 变化剧烈，主要受城市建设及扩张影响，需进行分区优化。在建成区内部可适当进行增绿补绿，平衡生态环境；建成区外部重点实施修复工程，对受损湿地、林地进行针对性的生态修复。

2）严守耕地保护红线，提升蓝线约束能力。耕地转出、水域转入为影响 ESV 变化格局的主因，需重点开展耕地、水域保护。对“沪苏”沿线耕地转出面积较大镇域，需严格坚守耕地保护红线、保障耕地占补平衡；对环湖沿江镇域，需明确水域蓝线保护范围，限制附近建设活动。

3）扩大生态保护区域规模，重构重点区域生态体系。水资源密集、经济强镇区域是主要风险区，将水资源密集镇域中的生态保护区规模进行扩大，降低人类干扰，保证生态系统的稳定；经济强镇需在保证耕地、水域等非建设用地规模的基础上，对生态体系进行重构，促进区域生态功能恢复。

### 参考文献


[1]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.

[2]COSTANZA R,D'ARGE R,DE GROOT R,et al.The value of the world's ecosystem services and naturalcapital[J].Nature,1997,387:253-260.

[3]DE GROOT R,BRANDER L,VAN DER PLOEG S,et al.Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units[J].Ecosystem Services,2012,1(1):50-61.

[4]DE GROOT R S,WILSON M A,BOUMANS R M J.A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions,goods andservices[J].Ecological Economics,2002,41(3):393-408.

[5]MILESI C,ELVIDGE C D,NEMANI R R,et al.Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States[J].Remote Sensing of Environment,2003,86(3):401-410.

[6]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.

[7]路昌,王雨晴,刘晓丽,等.黄河下游地区新型城镇化与生态系统服务耦合分析[J].生态经济,2023,39(9):85-92.

[8]郭亚红,阿布都热合曼·哈力克,魏天宝,等.基于土地利用变化的和田地区生态系统服务价值分析[J].生态学报,2021,41(16):6363-6372.

[9]王杉,吕寅超,林静雅,等.苏州游湖地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].中国城市林业,2022,20(2):125-130.

[10]王永静,宋风娇.玛纳斯河流域土地利用时空演变及对生态系统服务价值的影响[J].生态经济,2021,37(7):161-168.

[11]施润周,符国基.城市土地利用生态服务价值研究:以三亚市为例[J].中国城市林业,2014,12(5):7-11,23.

[12]赵正,韩锋,侯一蕾.基于 Meta 回归方法的中国城市森林生态系统服务功能价值再评估[J].长江流域资源与环境,2021,30(1):64-75.

[13]江文甲,林满红,翁佩莹,等.福建安溪县乡镇土地生态系统服务价值的演变机制[J].应用生态学报,2021,32(12):4457-4466.

[14]周常萍.基于生态系统服务价值的土地利用和生态环境评价:以广东省为例[J].安徽农业科学,2010,38(18):9722-9724.

[15]周申蓓,黄媛媛,吕玲玲.小浪底工程建设后黄河河岸带生态系统服务价值变化[J].人民黄河,2022,44(9):122-125,154.

[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]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.

[18]徐昔保,陈爽,杨桂山.长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化[J].生态学报,2012,32(24):7667-7675.

[19]王永琪,马姜明.基于县域尺度珠江-西江经济带广西段土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究[J].生态学报,2020,40(21):7826-7839.

[20]邓元杰,侯孟阳,谢怡凡,等.退耕还林还草工程对陕北地区生态系统服务价值时空演变的影响[J].生态学报,2020,40(18):6597-6612.

[21]贲薛晨,余成.基于“三生空间”的土地利用转型的生态效应及驱动力分析:以苏州市为例[J].环境工程技术学报,2022,12(5):1428-1436.

[22]张学文,郭晓华.石首市生态系统服务价值变化对景观格局演变的响应[J].中国城市林业,2022,20(3):61-68.

[23]董亚坤,郭羽鑫,吴碧兰,等.基于土地利用动态变化的洱海流域上游生态系统服务价值分析[J].水生态学杂志,2023,44(1):16-24.

[24]楚智,徐长春,罗映雪,等.基于生态保护红线管理的塔里木河流域土地利用模拟及生态效益评价[J].生态学报,2021,41(18):7380-7392.