DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2026.06.045 CSTR:32311.14.rswc.2026.06.045
苏乐, 曹玉红, 曹卫东. 土地利用转型轨迹下皖西生态屏障区生态系统服务价值研究[J]. 水土保持研究,2026,33(6):475-485.
Su Le, Cao Yuhong, Cao Weidong. Research on ecosystem service value in ecological barrier area of western Anhui under land use transition trajectories[J]. Research of Soil and Water Conservation,2026,33(6):475-485.

土地利用转型轨迹下皖西生态屏障区生态系统服务价值研究

苏 乐[1], 曹玉红[1], 曹卫东[2]
(1.安徽师范大学 生态与环境学院,皖江流域退化生态系统的恢复与重建省部共建协同创新中心, 安徽 芜湖 241002; 2.安徽师范大学 地理与旅游学院, 安徽 芜湖 241002)

摘 要:[目的] 皖西生态屏障区是我国重要的生态安全保护区,探究其2000年以来土地利用与生态系统服务价值(ESV)的关系,是确保其发挥生态安全作用的重要基础,是维持区域长期稳定发展的关键所在。**[方法]** 利用2000—2020年的土地利用数据和社会经济数据,结合ArcMap软件平台的空间分析能力,运用土地利用动态度和空间转移矩阵,通过当量因子法对皖西生态屏障区的ESV进行测算,计算生态贡献率与敏感性指数,以揭示土地利用转型与ESV之间的内在联系。**[结果]**(1)2000—2020年皖西生态屏障区土地利用转型特征主要表现为城镇化驱动下的耕地、林地向建设用地转移,水域面积受生态保护政策的影响有所增长。(2)皖西生态屏障区的生态系统服务总价值下降0.15%,总体保持稳定。耕地、林地等传统生态用地持续流失,而水域凭借着高生态价值发挥着关键的补偿作用,这种补偿模式存在明显的脆弱性。(3)从空间分布来看,皖西生态屏障区ESV呈现出"南北高、四周低"的空间格局。高值区和中高值区围绕水域分布,中值区主要围绕林地分布。(4)20年间,皖西生态屏障区水域生态贡献率高达41.09%,是皖西生态屏障区ESV最主要的贡献因子,ESV对水域和林地价值系数的变化最为敏感。**[结论]** 皖西生态屏障区未来生态安全格局的构建应从价值补偿转向空间权衡,实施差异化空间管控政策,重点保护水域和森林等高敏感区域,以提升皖西地区的生态屏障功能。

关键词:土地利用变化; 生态系统服务价值; 生态贡献率; 敏感性分析; 皖西生态屏障区
中图分类号:X171.1; F301.24 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-3409(2026)06-0475-11

Research on ecosystem service value in ecological barrier area of western Anhui under land use transition trajectories

Su Le[1], Cao Yuhong[1], Cao Weidong[2]
(1.*School of Ecology and Environment, Collaborative Innovation Center of Recovery and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Wanjiang Basin Co-founded by Anhui Province and Ministry of Education, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui* 241002, *China*; 2.*School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui* 241002, *China*)

Abstract: [**Objective**] The ecological barrier area of western Anhui serves as a critical ecological security conservation area in China. Investigating the relationship between land use and ecosystem service value (ESV) since 2000 is an important foundation for ensuring its ecological security function and a key factor in maintaining long-term regional sustainable development. [**Methods**] Based on land use data and socio-economic data from 2000 to 2020, this study employed the spatial analysis capabilities of the ArcMap platform, utilized land use dynamic degree and spatial transition matrix, and applied the equivalent factor method to estimate the ESV of the ecological barrier area of western Anhui. Furthermore, the ecological contribution rate and sensitivity index were

收稿日期:2026-04-19 **修回日期:**2026-04-29 **接受日期:**2026-05-21
资助项目:国家自然科学基金项目"多维视角下边缘区空间识别、生成机制与融入模式研究——长三角的多尺度实证"(42371185)
第一作者:苏乐(1997—),女,河北衡水人,硕士研究生,研究方向为生态系统服务。E-mail:2646552668@qq.com
通信作者:曹玉红(1974—),女,安徽宿州人,博士,副教授,主要从事生态环境规划管理研究。E-mail:hong923@ahnu.edu.cn

calculated to reveal the intrinsic linkages between land use transition and ESV dynamics. [**Results**] (1) From 2000 to 2020, the land use transition characteristics in the ecological barrier area of western Anhui were primarily reflected in the conversion of cropland and forest land to construction land driven by urbanization, accompanied by a moderate increase in water body area attributable to ecological conservation policies. (2) The total ecosystem service value (ESV) of the ecological barrier area of western Anhui decreased by 0.15%, remaining generally stable. Traditional ecological land types such as cropland and forest land experienced persistent losses, while water bodies, owing to their high ecological value, played a critical compensatory role. However, this compensatory mechanism exhibited obvious vulnerability. (3) Spatially, the ESV displayed a distinct pattern of "high in the north and south, low in the surrounding areas". High-value and medium-high-value zones were distributed around water bodies, whereas medium-value zones were mainly distributed around forest land. (4) Over the 20-year period, water bodies contributed the highest positive ecological contribution rate of 41.09%, representing the dominant contributing factor to regional ESV changes. ESV was most sensitive to variations in the value coefficients of water bodies and forest land. [**Conclusion**] The construction of the ecological security pattern in the ecological barrier area of western Anhui should shift from value compensation to spatial trade-off. Differentiated spatial management policies should be implemented, prioritizing the protection of highly sensitive areas such as water bodies and forests, so as to enhance the ecological barrier function of western Anhui.

Keywords: land use change; ecosystem service value; ecological contribution rate; sensitivity analysis; ecological barrier area of western Anhui

土地是人类生产生活的基础物质来源[1],土地利用方式的转变是对人类改造自然行为最直观的表现[2],具有显著的时空特征[3]。土地利用格局的演变,直接关系到地方经济增长,制约着生态系统服务能力与其包含的综合价值[4-6]。生态系统服务(Ecosystem Services, ES)是指自然生态系统通过其结构、过程和功能为人类提供的各类惠益[7]。生态系统服务价值(Ecosystem Service Value, ESV)则是人类从生态系统中获取的各项利益所对应的经济价值[8]。随着生态文明理念的持续推进,土地格局演变和ESV的关联性受到学者们的广泛关注,评估土地利用转型过程中的ESV变化,并揭示二者相互作用机理,对于资源优化配置以及构建生态安全格局具有重要意义[9-10]。20世纪末期,Costanza等[11]对全球尺度的ESV当量进行测度,开创性地提出了当量因子法,依据土地利用分类,对全球17类生态系统功能的经济价值进行评估;谢高地等[12-14]立足于中国的实际情况,通过多次修正当量因子系数,构建了符合中国生态系统特征的服务价值评估体系。我国学者围绕该方向进行了广泛探索,多聚焦于农田、森林、草原、湿地、冰川等特定生态系统,或流域、城市群等区域单元,关键在于说明土地利用转型与ESV之间的关系[15-20]。大量研究表明,地类的转变对ESV具有显著的影响,但是对于承担生态功能的特定区域,相关研究相对有限。作为安徽省的重要组成部分,揭示皖西生态屏障区ESV时空格局及其驱动因子,对科学规划用地、实现经济与生态环境保护协调发展具有至关重要的意义。

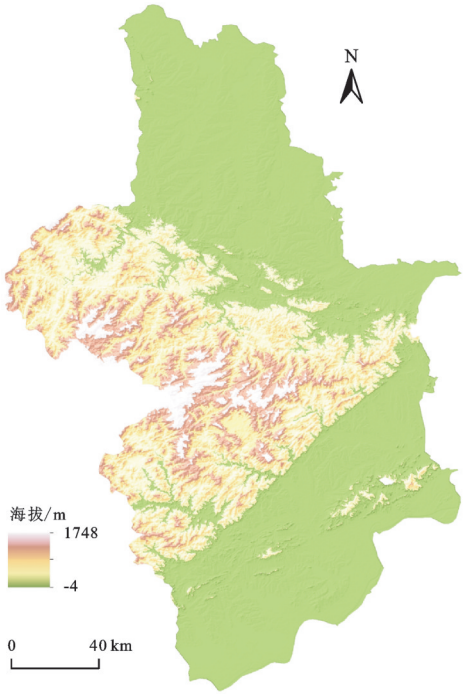
作为长江下游关键的生态保护区,皖西生态屏障区承担着重要的下游水量调节功能[21],这道绿色屏障可以保障下游水质、涵养地下水源、固碳生氧,推动长三角区域生态环境改善;还有其丰富的林业资源,构成了区域生态安全屏障,同时通过碳汇交易为区域可持续发展注入新的动力[22]。"十四五"期间,安徽省将生态保护和绿色发展放在中心位置,全面推进区域绿色转型,皖西生态屏障区成为保障区域生态安全的重要屏障[23]。

本研究选取皖西生态屏障区作为典型区,通过土地利用动态度、土地利用转移矩阵,探究20年间皖西生态屏障区土地的动态变化过程,引入当量因子法完成对区域ESV的量化分析。在传统土地利用变化和ESV核算的基础上,使用生态贡献率和生态敏感性指数分析皖西生态屏障区ESV对土地利用变化的响应程度,精准识别影响区域ESV变化的关键地类因子,揭示水域高价值补偿机制的脆弱性,为皖西生态屏障区实现由价值补偿向空间管控转型提供方法依据。阐明不同土地利用类型转换对生态服务功能产生的影响,以期为合理配置国土资源和构建可持续发展路径提供参考,从而助力皖西生态屏障区自然环境的改善与区域经济的高水平发展。

1　研究区域与数据来源

1.1　研究区概况

皖西生态屏障区主要指皖西大别山地区,覆盖安徽省六安市全境(金安区、裕安区、叶集区、霍邱县、舒城县、金寨县、霍山县)、安庆市部分县区(岳西县、太湖县、潜山市、宿松县)以及淮南市寿县。本文选择六安市和安庆市作为皖西生态屏障区的典型区域进行研究,地理坐标为东经115°22′—117°44′、北纬29°47′—32°37′,研究区概况见图1。面积约2.9万km^2,占安徽省总面积的20.7%,其中山区面积占18%,其余大部分为低山丘陵。地处亚热带湿润季风气候区,雨热同期,降水主要集中在夏季,年均气温14～16 ℃,年降水量1 200～1 500 mm。皖西生态屏障区是我国重要的粮食、油料产区之一,也是安徽省重要的林果产区,区域内分布有大量国家级、省级自然保护区,生态系统保存相对完整,是建设美好安徽的重要生态依托[22]。因此研究皖西生态屏障区的土地利用变化趋势以及生态系统服务价值对于区域生态经济发展有着十分重要的意义。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号GS(2024)0650号的标准地图制作,底图未做修改,下图同。

图1　研究区概况

Fig. 1　Overview of study area

1.2　数据来源

皖西生态屏障区高程DEM数据来源于地理空间数据云平台(http://www.gscloud.cn)。土地利用数据提取自中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn),选取2000年、2005年、2010年、2015年和2020年5期数据,空间分辨率为30 m×30 m。参照中国科学院LUCC和《土地利用现状分类》(GB/T21010—2017)分类标准,将皖西生态屏障区土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地6个大类,土地利用信息的提取、空间运算和成果制图均基于ArcGIS 10.2平台进行。所涉及的社会经济数据(粮食作物单产、播种面积、粮食产量)通过查询研究时段内《安徽省统计年鉴》获取,粮食作物价格获取自研究时段内《全国农产品成本收益资料汇编》。

2　研究方法

2.1　土地利用动态度

单一土地利用动态度反映了研究区内某一特定地类的变化程度,综合土地利用动态度是衡量全域范围内所有地类的整体变化情况[24]。计算公式为:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times 100\% \tag{1}$$

$$LC=\left\{\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta LU_{i-j}}{2\sum_{i=1}^{n}LU_i}\right\}\times\frac{1}{T}\times 100\% \tag{2}$$

式中:K为单一土地利用动态度(%);U_a,U_b分别为研究初期和研究末期地类面积(km^2);LC为综合土地利用动态度(%);ΔLU_{i-j}表示研究时段内第i种地类转化为其他类型面积的绝对值(km^2);LU_i表示研究初期第i种地类的面积(km^2);T为研究时段(a)。

2.2　土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵表示在研究时段内,该区域各地类间具体发生的转变数量以及转移方向,可以直观地展示出研究时段期末各土地利用类型的来源与构成情况[25]。其数学表达式为:

$$\boldsymbol{A}=(\boldsymbol{A}_{ij})_{n\times n}=\begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n}\\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn}\end{bmatrix} \tag{3}$$

式中:$\boldsymbol{A}$为地类转化面积(km^2);n为地类数量,n=6;i,j分别为研究初期和末期的地类。

2.3　生态系统服务价值评估方法

参考Costanza等[11]使用的当量因子法和谢高地等[14]根据中国实际情况构建的单位面积ESV价值当量表,设定1个标准单位ESV当量为1 hm^{2}粮食产生经济价值的1/7。根据皖西生态屏障区的实际粮食种植情况,主要农作物为稻谷(*Oryza sativa*)、小麦(*Triticum aestivum*)和玉米(*Zea mays*),采用2020年皖西生态屏障区平均粮食单价,计算得出皖西生态

屏障区1个ESV当量因子为1 696.5元/hm²。计算方法如下：

$$Na = 1/7\sum_{i=1}^{n}\frac{m_i p_i q_i}{M} \quad (4)$$

式中：Na为单位面积ESV；i为粮食作物的类型；m_i为第i种粮食作物平均价格（元/kg）；p_i为第i种粮食作物单产（kg/hm²）；q_i为第i种粮食作物播种面积（hm²）；M为粮食作物的总种植面积（hm²）。

基于皖西生态屏障区的自然特征，根据修正后的价值当量，得到皖西生态屏障区ESV价值系数（表1）。对皖西生态屏障区的ESV进行测算，计算公式如下：

$$ESV = \sum(A_i \times VC_i) \quad (5)$$

$$ESV_f = \sum(A_i \times VC_{fi}) \quad (6)$$

式中：ESV和ESV_f分别是生态系统服务总价值和第f项生态系统服务价值（元）；A_i为第i种地类面积（hm²）；VC_i为第i类土地的价值系数（元/hm²）；VC_{fi}为第i类土地的第f项生态系统服务价值系数（元/hm²）。

表1 皖西生态屏障区单位面积ESV价值系数

Table 1 Unit area ESV value coefficients in ecological barrier area of western Anhui 元/hm²

生态系统服务功能类型		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
一级类型	二级类型						
供给服务	食物生产	1883.12	424.13	390.20	1119.69	0.00	16.97
	原料生产	424.13	983.97	576.81	627.71	0.00	50.90
	水资源供给	−2222.42	508.95	322.34	9228.96	0.00	33.93
调节服务	气体调节	1509.89	3240.32	2052.77	2273.31	0.00	186.62
	气候调节	797.36	9687.02	5411.84	5004.68	0.00	169.65
	净化环境	237.51	2833.16	1781.33	7769.97	0.00	525.92
	水文调节	2544.75	6344.91	3969.81	107286.66	0.00	356.27
支持服务	土壤保持	882.18	3935.88	2493.86	2748.33	0.00	220.55
	维持养分循环	271.44	305.37	186.62	220.55	0.00	16.97
	生物多样性	288.41	3596.58	2273.31	88838.77	0.00	203.58
文化服务	美学景观	135.72	1577.75	1000.94	5615.42	0.00	84.83
总计		6752.09	33438.04	20459.83	230734.05	0.00	1866.19

2.4 生态贡献率计算

生态贡献率用于衡量特定时期内不同地类的生态系统服务价值变动对区域总价值变化的贡献程度，从而识别导致ESV波动的主导因素[26]，计算公式为：

$$CR_{iT} = \frac{\Delta ESV_{iT}}{\sum_{i=1}^{n}|\Delta ESV_{iT}|} \times 100\% \quad (7)$$

式中：CR_{iT}为第i种地类在研究时段T内的生态贡献率（%）；ΔESV_{iT}为第i种地类在研究时段T内的ESV变化量。

2.5 敏感性分析方法

敏感性指数用于衡量ESV对价值系数的响应强度，一般将价值系数分别上浮与下调50%来进行敏感性分析[27]。公式如下：

$$CS = \frac{(ESV - ESV_a)}{ESV_a} / \frac{(VC_i - VC_a)}{VC_a} \quad (8)$$

式中：CS为敏感性指数；ESV，ESV_a分别为调整前和调整后的生态系统服务总价值；VC_i，VC_a分别为调整前和调整后的价值系数。如果CS>1，说明ESV是具有弹性的，准确度偏低；如果CS<1，ESV则被认为是缺乏弹性的，结果可信[28]。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

利用ArcMap 10.2软件平台，制作出皖西生态屏障区5期土地利用空间分布图（图2）。从空间上看，皖西生态屏障区西部山区以林地和草地为主，耕地面积广泛，在南北两部分地区均有大面积分布，水域则集中分布在南北两端，东部地区城市分布较为集中，建设用地面积逐年增长。

根据皖西生态屏障区土地利用类型面积统计图（图3）可知，与2000年相比，2020年皖西生态屏障区耕地、林地、草地面积分别减少410.81 km²，63.27 km²，4.96 km²，建设用地、水域和未利用地面积依次增加459.89 km²，15.12 km²，4.03 km²。耕地面积大幅度减少，是区域面积减少最多的用地类型，2005—2010年减少的面积最大，为178.50 km²，这与建设用地快速扩张完全对应，建设用地面积由1 302.89 km²增加至1 762.78 km²。林地面积有所下降，从2000年的10 184.9 km²，逐年减至2020年的10 114.76 km²。草

地面积相对稳定,研究期内变化幅度较小。水域面积先降后增,研究期内共增加 15.12 km²;未利用地所占比例最小,各年度均低于0.1%。耕地和林地为区域最主要的用地类型,分别占其总面积的42.18%和34.97%。

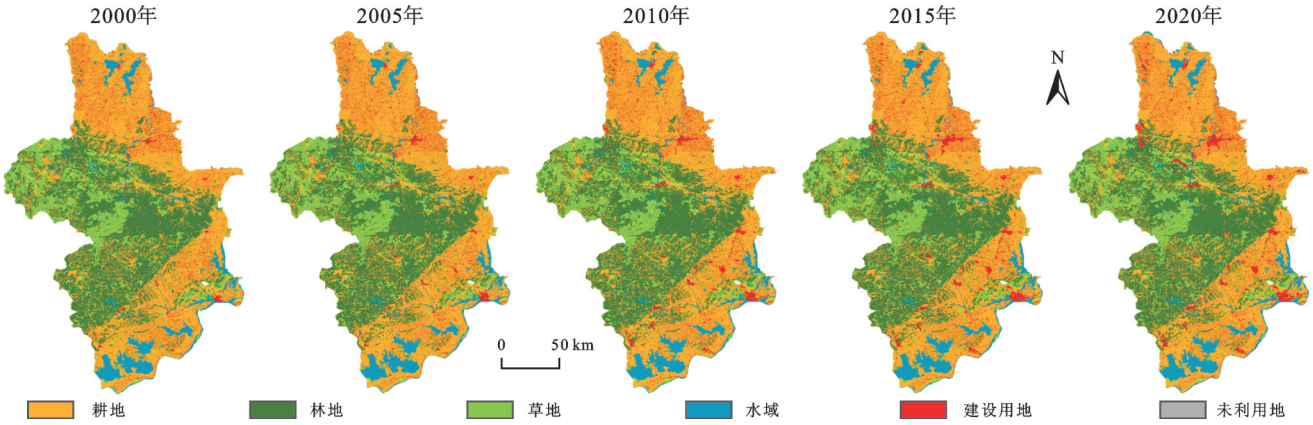


图 2　2000—2020 年皖西生态屏障区土地利用空间分布

Fig. 2　Spatial distribution of land use in ecological barrier area of western Anhui (2000—2020)

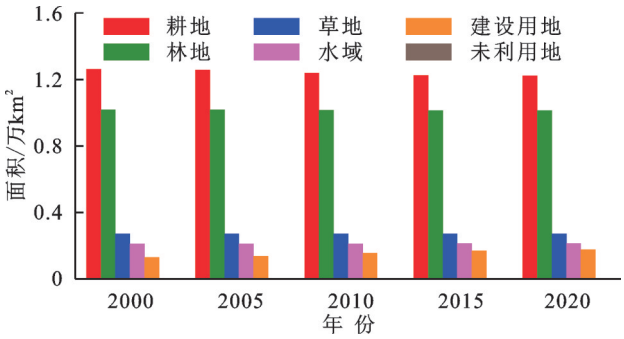


图 3　2000—2020 年皖西生态屏障区土地利用类型面积

Fig. 3　Areas of land use types in ecological barrier area of western Anhui (2000—2020)

根据皖西生态屏障区土地利用动态度(表 2)可知,2000—2020 年草地的单一动态度最小,建设用地动态变化强度明显高于其他地类。耕地与林地作为主要土地利用类型,动态度持续为负,呈现出缓慢流失的态势,其减少与建设用地的扩张存在明显的消长关系。水域面积动态度在2000—2005年短暂降低−0.11后转为正值,体现了“退耕还湿”与水利生态工程的实施效果。2010—2015 年未利用地动态度异常偏高,这是由于研究期初的面积基数过小导致的,尽管面积增加量仅有 5.51 km²,但在动态度计算中却被显著放大,这并不代表区域整体发生了剧烈的土地退化,而是局部地区遭受自然灾害的影响。2010—2015年皖西地区洪涝灾害和滑坡、泥石流等地质灾害频发,这直接导致耕地和林地的部分损毁,土地丧失了其原有功能,从而归为未利用地。这也反映了该区域人地关系紧张,需要加强灾后土地复垦,将水土保持与生态修复置于优先位置,以提升区域的生态屏障功能。

表 2　2000—2020 年皖西生态屏障区土地利用动态度

Table 2　Land use dynamic degree in ecological barrier area of western Anhui (2000—2020)

年份	单一动态度/%						综合动态度/%
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
2000—2005	−0.09	−0.02	−0.03	−0.11	0.88	0.00	0.03
2005—2010	−0.28	−0.01	0.02	0.08	2.81	0.00	0.08
2010—2015	−0.22	−0.07	−0.04	0.12	1.74	86.09	0.07
2015—2020	−0.07	−0.02	0.01	0.06	0.90	−4.36	0.03
2000—2020	−0.16	−0.03	−0.01	0.04	1.76	15.74	0.05

2000—2020 年皖西生态屏障区土地利用转移情况见表 3、图 4。耕地是转出面积最多的地类,耕地转化为建设用地是区域地类变化最突出的特征,转出面积为 392.82 km²。林地转出量为 63.94 km²,其中 57.05 km²转为建设用地,占林地转出面积的 89.22%,城镇扩张对林地的侵占同样突出。水域的增加主要也是来自耕地的转移,转移面积为 47.10 km²,同时也有 23.14 km²水域转为耕地,可能存在部分地区围湖造田现象。建设用地是转入面积最大的地类,净增加 459.89 km²,主要由耕地和林地转化而来。草地与未利用地的转移规模均较小,对区域土地利用格局变化影响较小。

20 年间,皖西生态屏障区常住人口城镇化水平持续提升,城镇人口的增长和工业用地的需求直接驱动耕地、林地向建设用地转型。水域面积在研究初期下降后逐步回升,退耕还林还湿、水源地保护等

政策的实施是耕地流向水域的主要原因，区域内水库的扩容建设也使水域的面积有所增加。皖西生态屏障区地形起伏较大，山区坡度较陡，开发难度大，林地不易转出，而地势平坦的河谷区域开发条件优越，更容易转化为建设用地或耕地，因此地形因素也制约着土地利用转型的空间分布。

表 3 皖西生态屏障区 2000—2020 年土地利用转移矩阵

Table 3 Land use transition matrix of ecological barrier area of western Anhui (2000—2020)

土地利用类型		2020 年						
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	总和
2000 年	耕地	12180.27	0.43	0.19	47.10	392.82	0.65	12621.46
	林地	2.48	10120.94	0.87	0.68	57.05	2.86	10184.88
	草地	0.01	0.11	2714.62	0.22	6.54	0.17	2721.67
	水域	23.14	0.02	0.95	2080.48	10.28	0.19	2115.06
	建设用地	4.75	0.11	0.08	1.70	1296.09	0.16	1302.89
	未利用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28	1.28
	总和	12210.65	10121.61	2716.71	2130.18	1762.78	5.31	28947.24

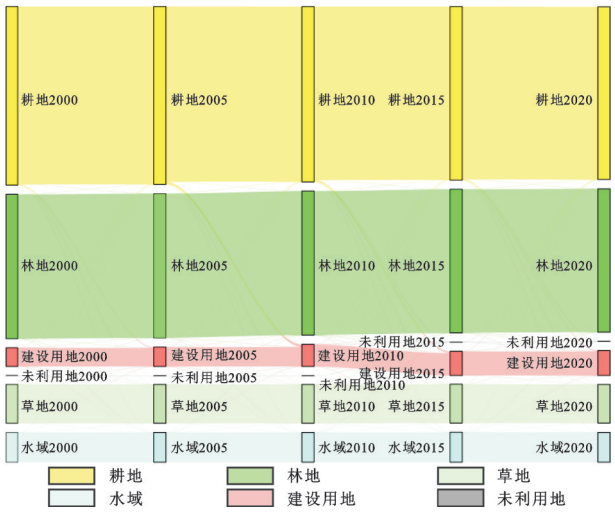


图 4 2000—2020 年皖西生态屏障区土地利用转移桑基图

Fig. 4 Sankey diagram of land use transition in ecological barrier area of western Anhui (2000—2020)

3.2 生态系统服务价值变化分析

2000—2020 年皖西生态屏障区 ESV 总价值整体呈下降趋势，但变化不大，从 2000 年的 969.48 亿元减少至 2020 年的 967.99 亿元，总量减少了 1.49 亿元，变化率为－0.15%。由表 4 和图 5 可知，各地类生态系统服务价值差异显著，具体表现为水域价值最高，林地、耕地、草地次之，未利用地最低。耕地和林地的生态系统服务价值连续下降，变化率分别为－3.25%和－0.62%，耕地和林地面积的减少是皖西生态屏障区生态系统服务价值降低的根本原因。水域的生态服务价值呈现先降后增的变化过程，2010—2015 年 ESV 增量最多，累计增加了 3.48 亿元，是增量最大的土地利用类型。草地和未利用地 ESV 变化较小，较为稳定。

从单项生态系统服务价值来看（表 5），皖西生态屏障区调节服务的 ESV 最高，占总生态系统服务价值的 60%，2000—2020 年增量达 3.07 亿元，之后是支持服务和供给服务，文化服务所占的比例相对较低。在单项功能中服务价值最显著的是水文调节、生物多样性和气候调节，说明 20 年间皖西地区作为华东地区重要的生态安全屏障和水源涵养地，其核心功能不仅得到了维护，且还在继续增强，生态屏障功能得到了强化。维持养分循环、原料生产、水资源供给等服务功能较为有限，说明皖西生态屏障区的生态系统服务功能已经从资源型转化为以生态调控为主导。

表 4 2000—2020 年皖西生态屏障区 ESV 总价值

Table 4 Total ESV in ecological barrier area of western Anhui (2000—2020)

土地利用类型	ESV/亿元					变化量/亿元	变化率/%
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	2000—2020 年	2000—2020 年
耕地	85.22	84.83	83.65	82.75	82.45	－2.77	－3.25
林地	340.56	340.19	339.94	338.79	338.45	－2.11	－0.62
草地	55.68	55.61	55.66	55.55	55.58	－0.10	－0.18
水域	488.02	485.23	487.26	490.13	491.50	3.48	0.71
未利用地	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
合计	969.48	965.86	966.51	967.23	967.99	－1.49	－0.15

3.3 皖西生态屏障区 ESV 空间变化

2000—2020 年皖西生态屏障区 ESV 在空间上表现为“南北高、四周低”的分布特征（图 6）。这一空间格局与地形和水系分布高度吻合：高值区和中高值区

集中分布在皖西生态屏障区的南北两部分,围绕水域分布,南北两端为长江、淮河的主要支流和湖泊区,位于霍邱县北部和宿松县的沿江地区。水域单位面积ESV极高,湖泊聚集区是ESV的高值中心。中值区则位于中部地区,主要围绕林地分布,集中在大别山腹地的金寨县、霍山县等山地地区,这表明林地作为生态屏障的主体提供了稳定的生态系统服务价值。中低值区和低值区广泛分布在低山丘陵地区,覆盖面积较广,这些区域多为耕地和草地,生态系统服务功能以供给服务为主,调节和支持功能较弱。

3.4　生态贡献率

根据皖西生态屏障区2000—2020年的生态贡献率(图7)可知,耕地和林地的生态服务贡献率在整个研究期间持续为负值,其中耕地在2005—2010年下降最多,为－33.62%,林地在2010—2015年降幅最大,为－22.82%,表明这两种土地利用类型在区域生态系统调节和支持功能上总体呈下降趋势。草地的生态贡献率波动较小,虽在部分时段呈现正向波动,但整体仍为负值,对区域影响不大。水域的生态服务贡献率变化最为突出,由2000—2005年的－77.07%转为持续的正值,整体贡献率达41.09%,说明水域生态系统在经历了功能退化后得到了有效的恢复和提升,成为对区域生态服务功能影响最大的地类。未利用地的贡献率近乎为零,对区域生态服务的影响微弱。总的来说,该区域生态服务功能结构在2000—2020年经历了明显调整,水域生态功能的积极恢复与耕地、林地的功能下降形成对比,后续在皖西生态屏障区的建设中应重视土地利用结构的优化和生态保护措施的针对性实施。

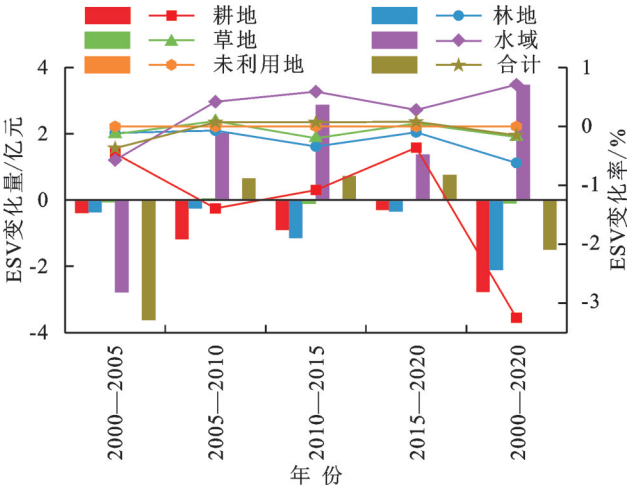


图5　2000—2020年皖西生态屏障区各地类ESV变化量和变化率

Fig. 5　Changes in ESV and corresponding change rates for each land use type in ecological barrier area of western Anhui (2000—2020)

表5　皖西生态屏障区单项生态系统服务ESV变化

Table 5　Changes in ESV of individual ecosystem services in ecological barrier area of western Anhui

一级类型	二级类型	ESV/亿元					变化量/亿元	变化率/%
		2000年	2005年	2010年	2015年	2020年	2000—2020年	2000—2020年
供给服务	食物生产	31.52	31.37	30.97	30.68	30.58	－0.94	－2.98
	原料生产	12.47	12.42	12.28	12.16	12.12	－0.35	－2.81
	水资源供给	13.64	13.54	13.62	13.74	13.79	0.15	1.10
	合计	57.63	57.33	56.87	56.58	56.49	－1.14	－1.98
调节服务	气体调节	57.68	57.58	57.54	57.39	57.35	－0.33	－0.57
	气候调节	140.11	139.98	140.02	139.83	139.84	－0.27	－0.19
	净化环境	39.41	39.32	39.40	39.47	39.52	0.11	0.28
	水文调节	601.23	598.31	600.06	603.28	604.79	3.56	0.59
	合计	838.43	835.19	837.02	839.97	841.50	3.07	0.37
支持服务	土壤保持	63.22	63.10	63.12	63.02	63.02	－0.20	－0.32
	维持养分循环	5.58	5.56	5.56	5.55	5.54	－0.04	－0.72
	生物多样性	404.05	402.51	403.36	404.90	405.67	1.62	0.40
	合计	472.85	471.17	472.04	473.47	474.23	1.38	0.29
文化服务	美学景观	20.58	20.50	20.57	20.65	20.69	0.11	0.53

3.5　敏感性分析

通过2000—2020年皖西生态屏障区各地类ESV的敏感性指数(表6)分析可知,5种土地利用类型的敏感性均小于1,说明皖西生态屏障区ESV的计算结果是可信的。在5种不同的土地利用类型中,耕地和林地的敏感性指数呈缓慢下降趋势,而水域的敏感性指数总体上升。水域和林地的敏感性指数显著高于其他类型,水域的敏感性指数范围为0.502 3～0.507 8,林地的范围为0.349 6～0.352 3,价值系数都超过了0.1,这意味着这两类土地的变动对皖西生态

屏障区的ESV产生了显著的影响。耕地和草地的影响相对较轻，未利用地五年的敏感性指标都低于0.01，对总ESV的影响可以忽略不计。为了更好地提升皖西生态屏障区的生态保护水平，应对水域、林地以及耕地面积的变化及其造成的潜在生态影响保持高度关注。

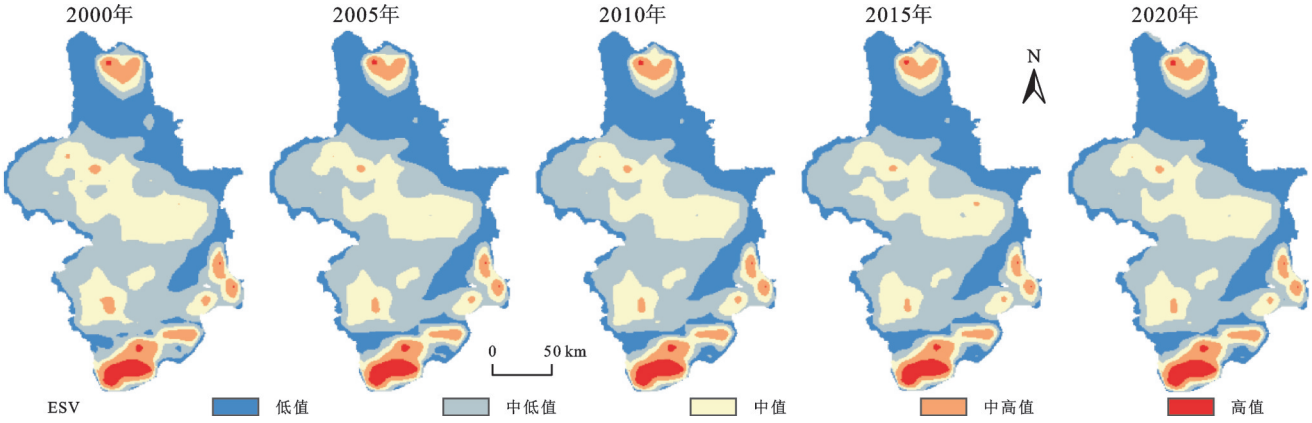


图 6 2000—2020 年皖西生态屏障区 ESV 时空变化

Fig. 6 Spatiotemporal changes in ESV in ecological barrier area of western Anhui (2000—2020)

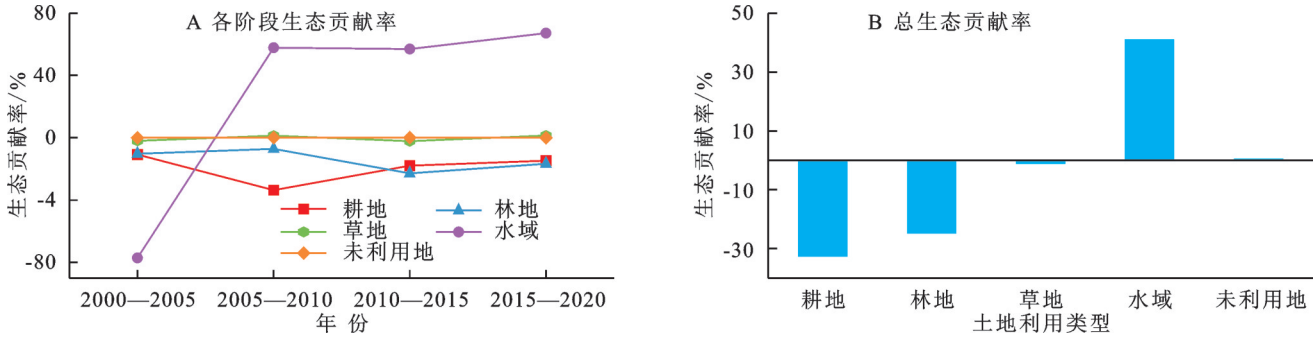


图 7 2000—2020 年皖西生态屏障区生态贡献率

Fig. 7 Contribution rate of ecosystem services in ecological barrier area of western Anhui (2000—2020)

表 6 皖西生态屏障区生态系统服务价值敏感性指数

Table 6 Sensitivity index of ecosystem service value in ecological barrier area of western Anhui

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	未利用地
2000	0.0879	0.3513	0.0574	0.5034	0.0000
2005	0.0878	0.3523	0.0576	0.5023	0.0000
2010	0.0866	0.3517	0.0576	0.5041	0.0000
2015	0.0856	0.3503	0.0574	0.5067	0.0001
2020	0.0852	0.3496	0.0574	0.5078	0.0001

4 讨 论

通过对皖西生态屏障区土地利用与ESV变化的评估，揭示了该区域人类活动与自然环境关系的变化过程及其对生态系统产生的影响。结果表明，2000—2020年皖西生态屏障区经过快速的城镇化过程，建设用地扩张和耕地、林地萎缩并存，这与长三角其他城市群总体趋势保持一致[29]。研究期内皖西生态屏障区ESV总体保持稳定但略有下降，建设用地占用耕地和林地是导致ESV下降的根本原因，这与於冉等[30]研究结论相同。多数研究显示建设用地侵占生态用地会导致ESV发生大幅下降，但本研究ESV总量仅下降0.15%，这一特殊格局源于该区域ESV对水域的高度依赖，水域成为研究时段内唯一的正向贡献因子，面积仅约7.4%的水域贡献了超过50%的ESV，41.09%的生态贡献率抵消了耕地、林地等大面积萎缩带来的负面影响，也说明近年来生态保护措施取得了积极成效。尽管水域面积的增加抵消了部分耕地、林地流失带来的负值，但这种高生态价值地类补偿、低生态价值地类流失的模式具有脆弱性，这也是皖西生态屏障区异于其他功能区的主要特征。因此，评价此类区域的生态状况时不能只关注地类面积的净变化，同时还应关注关键生态资产的细微波动。

结合安徽省“建设经济社会发展绿色转型区”的战略导向，围绕皖西生态屏障区的土地利用特征和ESV价值，对区域可持续发展提出如下建议：(1) 水域和林地对区域ESV总价值的稳定具有重要的影响，建议将高敏感性的河湖湿地和优质林地优先划入生态保护红线，建立以水域为核心的生态补偿机制，确保其正向生态贡献的持续性。(2) 实施差异化空间管控，依据ESV空间分区的不同制定分级管控

措施:ESV高值区应实施最严格的水域保护制度,设立湖滨缓冲带,禁止水域内的开发建设活动。ESV中值区应将水源涵养和生物多样性保护放在优先位置,严格限制高强度开发,推动生态旅游和碳汇林业等代替传统开发模式。对ESV中低值区发展生态农业,在保障农产品供给的同时提升生态功能,将生态成本转化为生态资本。(3)加强对高贡献地类的风险管控。由于水域对区域ESV有着决定性影响,应将流域综合治理、水源地保护、水污染突发事件应急防控作为保障区域生态安全的优先任务,防止水域生态系统退化导致的区域整体性生态风险。

本研究利用生态贡献度与敏感性分析法相结合,识别出影响皖西生态屏障区ESV变化的关键因子,相较于传统方法具有创新性。然而,当量因子法虽已被广泛使用,但静态的价值系数具有一定的局限性,无法精确全面地反映皖西生态屏障区生态系统服务功能的动态退化与恢复过程,局部的空间差异性也不能准确体现。未来可引入地理探测器,进一步识别人口、经济、地形等因素对土地利用转型的驱动作用,构建新型生态系统评估模型,采用多情景模拟预测不同政策导向下皖西生态屏障区ESV的演变趋势和空间分异格局,识别生态脆弱区域,进一步探究气候演变、政策调控等多种要素对土地利用和ESV的影响,为生态环境的综合治理和相关政策的制定提供理论支撑。

5　结　论

(1)皖西生态屏障区土地利用类型多样,转型特征明显,主要表现为建设用地的持续扩张和耕地、林地的持续减少,城镇化建设是导致耕地、林地向建设用地转移的主要原因。水域面积的增加则是受“退耕还湿”等生态保护政策与水利工程的影响。

(2)2000—2020年皖西生态屏障区ESV总价值下降0.15%,总体保持稳定。耕地和林地面积的减少是ESV损失的主要原因,而水域面积的增加及其单位面积的高生态价值是遏制ESV总量大幅下降的关键补偿因子,但这种补偿模式具有明显的脆弱性。单项ESV中调节服务和支持服务价值明显高于供给服务和文化服务,起显著作用的是水文调节和生物多样性保护,体现了皖西生态屏障区作为长三角地区水源涵养与生物多样性保护核心屏障的作用。

(3)从空间分布来看,皖西生态屏障区ESV呈现出“南北高、四周低”的空间格局,高值区和中高值区围绕水域分布,与河湖湿地关联紧密;中值区分布在中部地区,主要围绕林地分布,体现了森林的生态基础作用;中低值区和低值区围绕耕地和草地分布,覆盖面积较广。

(4)20年间,水域对区域ESV变化的生态贡献率最高且为正值,生态贡献率高达41.09%,是皖西生态屏障区ESV最主要的贡献因子。敏感性分析表明,ESV对水域和林地价值系数的变化最为敏感,这两种地类是维护区域生态安全的关键。因此未来皖西生态屏障区生态安全格局的构建应从价值补偿转向空间权衡,实施差异化空间管控政策,重点保护水域和森林等高敏感区域,建立生态补偿机制,以提升皖西地区的生态屏障功能。

参考文献(References):

[1] 武娟娟,杜军,旭日干,等.内蒙古十大孔兑流域土地利用变化特征及驱动力[J].中国沙漠,2024,44(6):100-109.
Wu J J, Du J, Xu R G, et al. Land use change characteristics and driving forces in the Ten Tributaries Basin, Inner Mongolia[J]. Journal of Desert Research, 2024,44(6):100-109.

[2] 邢佳丽,史文娇,郭旭东,等.2010—2017年中国典型城市群土地利用格局变化及其驱动力比较分析[J].生态科学,2024,43(1):46-54.
Xing J L, Shi W J, Guo X D, et al. Comparison of land use change and its driving factors among typical urban agglomerations in China from 2010 to 2017[J]. Ecological Science, 2024,43(1):46-54.

[3] 徐梦菲,汪霞.基于生态系统服务价值的郑洛沿黄地区景观生态风险时空演变及驱动力分析[J].环境科学,2026,47(1):444-455.
Xu M F, Wang X. Spatial-temporal evolution of landscape ecological risk and driving forces based on ecosystem service value along the Yellow River in Zhengzhou and Luoyang Cities[J]. Environmental Science, 2026,47(1):444-455.

[4] 牛璐,向燕芸,张齐飞,等.2000年以来黄河中游地区土地利用与生态系统服务价值时空分异特征[J].水土保持研究,2025,32(5):435-443.
Niu L, Xiang Y Y, Zhang Q F, et al. Spatiotemporal differentiation characteristics of land use and ecosystem service value in middle reaches of Yellow River since 2000[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025,32(5):435-443.

[5] 石智宇,蒲万平,董雯红.中国北方农牧交错带土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响[J].环境科学,2025,46(4):2373-2384.
Shi Z Y, Pu W P, Dong J H. Spatiotemporal changes of land use and their impacts on ecosystem service value in the agro-pastoral ecotone of northern China[J]. Environmental Science, 2025,46(4):2373-2384.

[6] 陈美景,王庆日,白中科,等.黄河流域资源型城市土地

利用转型及其对生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2023,43(22):9459-9470.
Chen M J, Wang Q R, Bai Z K, et al. Land use transition of resource-based cities in the Yellow River Basin and its impact on ecosystem services[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023,43(22):9459-9470.

[7] Assessment M E. Ecosystems and human well-being [M]. Washington D C: Island Press, 2005.

[8] 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.
Fu B J, Zhang L W. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress[J]. Progress in Geography, 2014,33(4):441-446.

[9] 孙定钊,梁友嘉,刘丽珺.贵州省2000—2020年土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].长江流域资源与环境,2024,33(3):547-560.
Sun D Z, Liang Y J, Liu L J. Impact of land use change on ecosystem service values in Guizhou Province from 2000 to 2020[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024,33(3):547-560.

[10] 谈旭,王承武.伊犁河谷生态系统服务价值时空演变及其驱动因素[J].应用生态学报,2023,34(10):2747-2756.
Tan X, Wang C W. Temporal and spatial evolution of ecosystem service value in Ili Valley and its driving factors[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023,34(10):2747-2756.

[11] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998,25(1):3-15.

[12] 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.
Xie G D, Lu C X, Leng Y F, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003,18(2):189-196.

[13] 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.
Xie G D, Zhen L, Lu C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China [J]. Journal of Natural Resources, 2008,23(5):911-919.

[14] 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.
Xie G D, Zhang C X, Zhang L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources, 2015,30(8):1243-1254.

[15] 许诺瑾,丁兵兵,余新晓,等.基于土地利用变化的黄河上游四川段生态系统服务价值评价[J].水土保持学报,2024,38(2):178-189.
Xu N J, Ding B B, Yu X X, et al. Ecosystem service functions in the upper reaches of the Yellow River in Sichuan based on land use change value evaluation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024,38(2):178-189.

[16] 刘洋洋,任涵玉,周荣磊,等.中国草地生态系统服务价值估算及其动态分析[J].草地学报,2021,29(7):1522-1532.
Liu Y Y, Ren H Y, Zhou R L, et al. Estimation and dynamic analysis of the service value of grassland ecosystem in China[J]. Acta Agrestia Sinica, 2021,29(7):1522-1532.

[17] 曹波,蔡春轶,张勇,等.汉石桥湿地自然保护区土地利用格局及其生态系统服务价值动态[J].湿地科学,2022,20(6):778-784.
Cao B, Cai C Y, Zhang Y, et al. Dynamics of land use patterns and ecological service values of Hanshiqiao wetland nature reserve[J]. Wetland Science, 2022,20(6):778-784.

[18] 孙美平,马维谦,姚晓军,等.祁连山冰川服务价值评估及其时空特征[J].地理学报,2021,76(1):178-190.
Sun M P, Ma W Q, Yao X J, et al. Assessment and spatiotemporal characteristics of service value of glaciers in the Qilian Mountains[J]. Acta Geographica Sinica, 2021,76(1):178-190.

[19] 梁嫔月,曹春,李锦超,等.近20年兰西城市群生态系统服务价值对土地利用转型的时空响应[J].环境科学,2024,45(6):3329-3340.
Liang B Y, Cao C, Li J C, et al. Spatiotemporal response of ecosystem service value to land use change in the Lanzhou-Xining urban agglomeration over the past 20 years[J]. Environmental Science, 2024,45(6):3329-3340.

[20] 郭云,李鹏,程维金,等.洞庭湖土地利用和生态服务功能时空变化及其耦合效应分析[J].环境科学学报,2022,42(1):121-130.
Guo Y, Li P, Cheng W J, et al. Evaluation and complex relations analysis of ecosystem services based on spatial-temporal change of land use in Dongting Lake[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2022,42(1):121-130.

[21] 孙雯杰,杨昕.水土流失分析的地形因子尺度效应:以安徽大别山区为例[J].中国水土保持,2023(7):50-55.
Sun W J, Yang X. Scale effect of terrain factors in analysis on soil erosion[J]. Soil and Water Conservation in China, 2023(7):50-55.

[22] 刘永婷,杨钊,章翩,等.安徽省生态系统服务时空变化及权衡-协同关系[J].水土保持研究,2023,30(2):413-421.
Liu Y T, Yang Z, Zhang P, et al. Spatiotemporal change and trade-off/synergy relationships among multiple ecosystem services in Anhui Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(2):413-421.

[23] 黄宁平.一屏山水倾心绘:安徽筑牢生态屏障促长三角生态绿色一体化[J].中共合肥市委党校学报,2022,21(3):58-59.
Huang N P. Painting An Ecological Masterpiece: Anhui's Role In Strengthening The Ecological Barrier

For The Eco-Green Integration of the Yangtze River Delta[J]. Journal of the Party College of Cpc Hefei Municipal Committee, 2022,21(3):58-59.

[24] 贾静,宿星,张军,等.1985—2020年甘肃省通渭县滑坡区土地利用变化及驱动力[J].应用生态学报,2024,35(10):2833-2841.
Jia J, Su X, Zhang J, et al. Land use changes and driving forces of landslide area in Tongwei County, Gansu Province, Northwest China from 1985 to 2020[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2024,35(10):2833-2841.

[25] 郑颖雯,王周锋,李思杰,等.近30 a渭河流域土地利用/覆被时空动态演化特征及驱动力分析[J].环境科学,2025,46(11):7106-7118.
Zheng Y W, Wang Z F, Li S J, et al. Analysis of spatiotemporal dynamic evolution characteristics and driving forces of land use/cover change in the Weihe River Basin in the past 30 years[J]. Environmental Science, 2025,46(11):7106-7118.

[26] 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.
Zhang F, Yusufujiang·Rusuli, Aierken·Tuersun. Spatiotemporal change of ecosystem service value in Bosten Lake Watershed based on land use[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021,41(13):5254-5265.

[27] 耿秘,刘艳,吴冉,等.2012—2022年长江经济带土地利用变化对水生态系统服务的影响[J].水土保持通报,2025,45(3):343-352.
Geng M, Liu Y, Wu R, et al. Effects of land-use change on aquatic ecosystem services in Yangtze River economic belt during 2012—2022[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025,45(3):343-352.

[28] 张剑飞,阳文锐,李晶晶,等.北京市生态系统服务价值时空变化及其驱动力[J].生态学报,2025,45(1):306-318.
Zhang J F, Yang W R, Li J J, et al. Spatio-temporal variation and driving factors of ecosystem services value in Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(1): 306-318.

[29] 庄汝龙,罗聪,徐岚,等.基于土地利用与生境质量的长三角地区生态功能分区识别与影响因素分析[J].长江流域资源与环境,2026,35(3):727-743.
Zhuang R L, Luo C, Xu L, et al. Identification of ecological functional zoning and analysis of influencing factors in the Yangtze River Delta region based on land use and habitat quality[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2026,35(3):727-743.

[30] 於冉,魏靖阳,苏越,等.景观生态风险视角下皖西大别山区土地利用格局模拟及权衡分析[J].生态与农村环境学报,2025,41(3):323-335.
Yu R, Wei J Y, Su Y, et al. Simulation and trade-off analysis of land spatial pattern from the perspective of landscape ecological risk: a case of wanxi Dabie Mountain Region, China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2025,41(3):323-335.

(上接第474页)

[24] 谭俊涛,赵宏波,刘文新,等.中国区域经济韧性特征与影响因素分析[J].地理科学,2020,40(2):173-181.
Tan J T, Zhao H B, Liu W X, et al. Regional economic resilience and influential mechanism during economic crises in China[J]. Geographical Science, 2020, 40(2):173-181.

[25] 汪辉,徐蕴雪,卢思琪,等.恢复力、弹性或韧性:社会:生态系统及其相关研究领域中“Resilience”一词翻译之辨析[J].国际城市规划,2017,32(4):29-39.
Wang H, Xu Y X, Lu S Q, et al. A comparative study of Chinese translation of Resilience terminology in socio-ecological system and its related research fields[J]. Urban Planning International, 2017,32(4):29-39.

[26] 王少剑,崔子恬,林靖杰,等.珠三角地区城镇化与生态韧性的耦合协调研究[J].地理学报,2021,76(4):973-991.
Wang S J, Cui Z T, Lin J J, et al. Coupling relationship between urbanization and ecological resilience in the Pearl River Delta[J]. Acta Geographica Sinica, 2021,76(4):973-991.

[27] 李亚,翟国方,顾福妹.城市基础设施韧性的定量评估方法研究综述[J].城市发展研究,2016,23(6):113-122.
Li Y, Zhai G F, Gu F M. Review on methods of quantification of urban infrastructure resilience[J]. Urban Development Studies, 2016,23(6):113-122.

[28] 刘成杰,苏虹,李勇.长江经济带城市韧性时空演变、区域差异与空间收敛性研究[J].统计与信息论坛,2024,39(8):29-42.
Liu C J, Su H, Li Y. Spatial and temporal evolution, regional differences and spatial convergence of urban resilience in the Yangtze River Economic Belt[J]. Journal of Statistics and Information, 2024,39(8):29-42.

[29] 夏方舟,李宇萌.京津冀城市群城市韧性水平评估及障碍因子分析[J].北京联合大学学报(人文社会科学版),2024,22(3):85-95.
Xia F Z, Li Y M. Assessment of urban resilience levels and analysis of obstacle factors in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration[J]. Journal of Beijing Union University (Humanities and Social Sciences), 2024,22(3):85-95.