姚晓洁,左倩年.淮南市绿地生态服务价值评估及可持续发展研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2025,45(5):137-147.
Yao X J, Zuo Q N.Ecological service value evaluation and sustainable development research of urban green space in Huainan City[J].Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2025,45(5):137-147.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202501021

淮南市绿地生态服务价值评估及可持续发展研究

姚晓洁,左倩年

(安徽建筑大学 建筑与规划学院,安徽 合肥 230601)

摘　要:[目的]城市绿地是城市生态系统的重要组成部分,具有提供生态服务、净化空气和促进健康等功能。评估其生态服务价值与可持续发展水平,对城市生态环境建设与规划具有重要参考意义。[方法]以淮南市作为研究对象,利用2012—2022年统计数据,选取水源涵养、固碳、释氧、滞尘、保护生物多样性、吸收氮氧化物、降温、休闲游憩8个指标,对其价值进行评估;运用全排列多边形图示法对淮南市绿地生态服务功能的变化趋势进行分析;采用生态经济协调度(EEH)指数对淮南市生态服务价值与社会经济发展的相互协调程度进行研究。[结果](1)淮南市绿地生态服务总价值不断提高,由2012年的2.28×10^8元增加到2022年的4.72×10^8元,净增加了2.45亿元,年均增长率约为7.8%。(2)历年生态系统服务价值大小排序依次为:保护生物多样性>释氧>固碳>降温>水源涵养>滞尘>休闲游憩>吸收氮氧化物。(3)11年间淮南市绿地系统生态服务实际价值的综合指数分别为0.049、0.116、0.142、0.209、0.266、0.403、0.428、0.457、0.531、0.706、0.949,可持续发展能力逐年提升。(4)淮南市近11年的EEH指数为0.92,生态经济协调发展处于中度协调水平,接近高度协调水平。[结论]淮南市的生态系统服务价值逐年上升,但城市经济的发展速率仍高于生态服务价值的发展速率。未来发展城市经济的同时需注重对生态环境的保护,完善相关法律保障城市绿地不受破坏尤为重要。

关键词:城市绿地;生态服务价值评估;全排列多边形图示法;可持续发展;淮南市
中图分类号:X196　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2025)05-0137-11

Ecological service value evaluation and sustainable development research of urban green space in Huainan City

Yao Xiaojie, Zuo Qiannian

(*School of Architecture and Planning, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China*)

Abstract: [Objective] As a key component of the urban ecosystem, urban green space provides multiple functions such as ecological services, air purification, and health promotion. Evaluating its ecological service value and sustainable development level can offer a scientific reference for urban green space system planning. [Methods] Taking Huainan City as the research area, this study evaluated eight ecological service indicators, including water conservation, carbon sequestration, oxygen release, dust retention, biodiversity protection, nitrogen oxide absorption, cooling and recreation, using statistical data from 2012 to 2022. The full permutation polygon graphic method was applied to analyze the changing trends of green space ecological service functions in Huainan City. The Eco-Economic Harmony (EEH) index was used to assess the coordination between ecological service value and socio-economic development in the region. [Results] The results indicated that: (1) The total value of ecosystem services provided by the green space system continued to increase, rising from 2,278.13×105 yuan in 2012 to 4,724.59×105 yuan in 2022, with a net increase of 245 million yuan and an average annual growth rate of about 7.8%. (2) The order of average value over the years was as follows: biodiversity protection> oxygen release> carbon sequestration> cooling> water

收稿日期:2025-01-17　　**修回日期**:2025-05-14
基金项目:安徽省自然科学基金面上项目(2308085ME183);安徽省社会科学创新发展攻关研究课题(2023CX155)
作者简介:姚晓洁(ORCID:0000-0002-4479-7563),教授,博士,研究方向:城乡规划设计与景观生态修复,E-mail:yaoxj661@sina.cn

conservation> dust retention> leisure and recreation> nitrogen oxide absorption. (3) Over the past 11 years, the comprehensive indices of the actual ecological service value of Huainan's green space system was 0.049, 0.116, 0.142, 0.209, 0.266, 0.403, 0.428, 0.457, 0.531, 0.706, 0.949, respectively, reflecting a year-by-year improvement in sustainable development capacity. (4) The EEH index for Huainan City over the past ten years was 0.92, indicating a moderate level of eco-economic coordinated development, approaching a high level of coordination. [Conclusion] The ecosystem service value in Huainan City has been increasing annually. However, the growth rate of the urban economy still exceeded that of the ecological services value. Future urban economic development should prioritize ecological environment protection, and it is particularly important to enhance relevant laws and regulations to prevent damage to urban green spaces.

Keywords: Urban green space, Ecological service value assessment, Full array polygon graphic method, Sustainable development, Huainan City

城市绿地在提升环境质量、增进居民福祉及促进可持续发展方面至关重要。然而,快速的城市化进程带来了空气污染、水资源紧张和生物多样性减少等环境挑战[1]。随着城市生态环境逐渐恶化,人们对绿地生态系统在推动城市生态健康、提升城市生态功能等方面的重要性有了更为明确的认识[2]。评估城市绿地的生态服务价值利于促进环境质量改善和居民福祉提升,推动可持续发展目标的实现[3]。

生态系统所提供的服务功能是指人类依赖的自然环境条件及其效益,这些条件与效益是由生态系统及其相关生态过程所形成和维持的[4]。国外研究注重生态系统服务价值的动态变化趋势及价值评估在实际决策中的应用[5-6],评估流域生态系统服务价值明确其生态价值等[7-8],并分别在全球生态系统、城市热岛效应的缓解以及城市绿地的气候调节、降温及休闲游憩等方面[9-11]进行了诸多实践研究,不仅深化了对城市绿地作用机制的理解,还通过技术创新和跨学科整合(生态学、气象学、城市规划),为全球城市应对气候变化和提升宜居性提供了科学依据和实践路径。国内基于不同的生态系统评估体系分别对成都市、上海市、青岛市和杭州市的城市绿地生态服务的价值进行评估[12-15],有关校园绿地和一线城市的绿地生态服务价值也有较多的研究[16],为城市绿地的布局和结构优化提供理论支撑。总体而言,国外研究以动态模型构建与跨学科整合为核心,基于i-Tree模型乔木、水体等景观要素的碳汇效益量化,并注重生态系统服务价值在政策制定中的直接应用。此外,欧美研究强调全球尺度分析,运用千年生态系统评估框架,关注气候变化背景下绿地与热岛效应的动态响应机制。国内早期以借鉴国外理论与方法为主,近年逐渐形成本土化的生态系统服务价值当量表,结合中国土地利用特点修订参数,更适用于区域尺度,但较于国外而言,国内研究多聚焦案例城市的静态评估,对动态驱动机制的量化分析仍显不足。随着生态学和经济学的发展,生态系统服务价值的量化评估方法将越来越丰富和完善,但仍面临诸多挑战。首先,生态系统服务功能的复杂性和动态性使得不同类型及区域的生态系统服务价值评估结果难以比较与对接,导致研究成果的实践转化率低、现实指导意义有限。其次,随着经济社会的发展,人类对生态系统服务的需求也在不断变化,如何适应这些变化并调整评估方法是一个亟待解决的问题。目前,国内外学者已经构建了较为完善的城市绿地生态价值评估与功能分析的理论架构及价值估算体系,但是依据现有估算方法所得的服务价值与实际价值间仍存有一定的偏差,显示出精确性上的局限性。因此,在未来的城市绿地生态系统服务研究中,应当强调定性与定量分析的有机结合,避免仅局限于估算偏差较大的生态系统服务价值这一绝对指标。在价值评估的基础上,需运用适当方法减少或消除绝对量偏差的影响,从而提升评价的科学性与准确性。

全排列多边形图示法在应对上述不足方面展现出了特定的优势,相较于传统线性加和模型,该方法通过构建n维指标空间,利用全排列组合算法解析多维指标间的协同关系,能够通过多准则标准化消除量纲差异,提升跨区域评估结果可比性;借助几何向量合成反映系统整体功能,规避单一指标偏差的级联放大效应;结合参数敏感性分析识别关键影响因子,增强评估结果的决策支撑效度[17-18]。尽管全排列多边形图示法近年来较多应用于土地利用评价的相关领域,并且已在土地利用系统评价中验证了其可靠性,但在生态系统服

务方面的应用较少,特别是在处理中小城市异质性数据和文化服务等软性指标量化方面有明显潜力。本研究结合定性和定量分析,运用全排列多边形图示法,同时增加中小型城市和文化服务价值的评估,可使评价结果更加客观真实。

本研究以淮南市城市公共绿地空间为核心研究对象,运用碳税法、影子价格法等5种方法,选取8项指标进行生态服务价值评估,并采用全排列的多边形图示方法实现标准化处理,进而计算综合指标,以此评价绿地生态系统的服务功能,然后引入生态经济协调度(EEH)的指数,以淮南市为例,深度剖析该地区生态与经济发展间的相互协调程度。本研究通过科学方法准确描绘该地区过去十年间绿地生态服务价值的演变轨迹,旨在为促进淮南市生态经济的可持续发展提供理论依据。

1　材料和方法

1.1　研究区域概况

淮南市位于安徽省中北部地区(图1,33°00′～33°54′ N,116°21′～117°12′ E),长江三角洲腹地,淮河之滨,以淮河为界形成2种不同的地貌类型,淮河以南为丘陵,淮河以北为地势平坦的淮北平原。淮南市属亚热带和暖温带的过渡地带,以落叶阔叶林为主,主要气候特征是夏雨集中,冬季干冷,季风显著,四季分明。截至2022年,常住人口302.7万人,总面积5650 km^2,其中城市绿地面积10 255 hm^2。

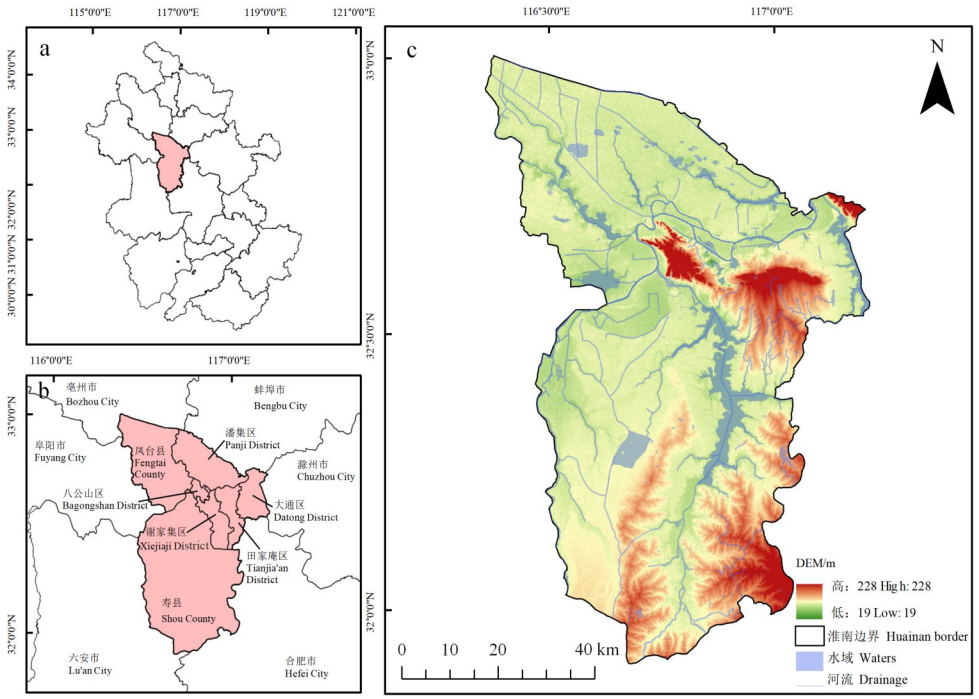

图1　研究区位图

Fig.1　The maps of research areas

1.2　数据来源

本研究以安徽省淮南市为研究区域,研究时间为2012年1月1日至2022年12月31日,共11年。文中资料数据主要来自《淮南市统计年鉴》《安徽省统计年鉴》和国家气象科学数据中心(https://data.cma.cn/),局部参数参考已刊发的文献资料[19-26]。

1.3　研究方法

1.3.1　绿地生态服务价值评估体系构建

该研究参考Costanza[9]以及Millennium Ecosystem Assessment[10]的研究成果,综合考虑淮南市气候条件和城市绿地的主要生态服务功能,在确保数据可获取、合理且科学的前提下,选取水源涵养、固碳、释氧、滞尘、保护生物多样性、降温、吸收氮氧化物、休闲游憩8个指标来构建绿地生态系

统服务价值评估体系。

1.3.2 绿地生态服务价值的计算与评估方法

本研究采用影子工程法计算淮南市绿地水源涵养服务价值[1]:

$$E_H = S \times M \times \lambda \times F_H \quad (1)$$

式中,S为淮南市各年绿地面积,hm^2;M为历年年平均降水量,mm;λ为水源涵养系数,该文借鉴《资源环境常用数据手册》,结果为44%;F_H为水库的单位库容价,取值6.110 7元/m^3。

本研究采用碳税法计算淮南市城市绿地固碳服务价值[20]:

$$E_Z = S \times R_Z \times T_Z \quad (2)$$

式中,S为淮南市各年绿地面积,hm^2;R_Z为每公顷绿地固碳量,t/hm^2,本研究参照与淮南市自然环境相似的地区[20],取5.501 5 t/hm^2;T_Z为碳税率取150美元/t,鉴于美元兑人民币汇率存在年度波动,核算时需按对应年份汇率的平均值进行换算。

本研究采用影子价格法计算淮南市城市绿地释氧服务价值[19]:

$$E_O = S \times R_O \times A_O \quad (3)$$

式中,S为淮南市各年绿地面积,hm^2;R_O为每公顷绿地释氧量,t/hm^2,本研究参考张超等[20]的研究,取14.67 t/hm^2;A_O为工业氧气价格,本研究参考张绪良等[14]的研究,取700元/t。

本研究采用市场价值法计算淮南市城市绿地降尘服务价值[1]:

$$E_D = S \times R_D \times C_D \quad (4)$$

式中,S为淮南市各年绿地面积,hm^2;R_D为每公顷绿地降尘量,参照欧阳志云等[21]的研究,取10.11 t/hm^2;C_D为除尘费用,参考郑州市绿地生态服务价值的研究[22],本研究取工业削减粉尘平均费用170元/t。

本研究参考杭州市城市绿地生态服务价值的研究[23],计算淮南市城市绿地保护生物多样性服务价值:

$$E_{SD} = S \times R_{SD} \quad (5)$$

式中,S为淮南市各年绿地面积,hm^2;R_{SD}为每公顷绿地各年物种损失的机会成本,本研究参考武文婷[23]的研究,取30 000元/hm^2。

本研究用恢复成本法计算淮南市城市绿地吸收氮氧化物服务价值[20]:

$$E_S = S \times R_S \times C_S \quad (6)$$

式中,S为淮南市各年绿地面积,hm^2;R_S为每公顷吸收的氮氧化物量,参考段彦博等[24]的研究,取0.38 t/hm^2;C_S为治理氮氧化物的费用,本研究参考张彪等[25]的研究,取630元/t。

本研究采用等价替代法计算淮南市绿地降尘服务价值[1]:

$$E_M = S \times D_M \times M \times G \times P_M \times 24 \quad (7)$$

式中,S为淮南市各年绿地面积,hm^2;D_M为夏季降温服务天数,参照相关文献[25],取60 d,M为每公顷的空调数量,参考张超等[20]的研究,取值为189台;G为空调功率,本研究李晖等[17]的研究,取0.86 kW;P_M为电价,取2012-2022年淮南市平均电价0.5元/t[19]。本研究计算淮南市绿地休闲游憩价值[26]的公式为:

$$E_U = S \times T_U \quad (8)$$

式中,S为淮南市各年绿地面积,hm^2;T_U为每公顷的休闲游憩价值,参照戴培超的研究内容[26],取545.8元/hm^2。

1.3.3 城市绿地生态服务价值评估方法

首先,计算淮南市城市绿地的生态服务价值,然后采用全排列多边形图示法对其进行评价。该方法能够同时展示单项指标与综合指标,既提供直观的图形展示,又包含数值分析,计算时只需设定相关的最大值、最小值及临界值,而无需依赖专家主观判断的权重系数[23]。本研究设定了8个指标(标准化值),利用生态服务功能价值分指数和综合指数的最大极值作为半径,构建出1个中心对称的正八边形,各指标之间通过连接形成1个不规则的中心八边形[27-28],公式为:

$$S_i = \frac{(U_i - L_i)(X_i - T_i)}{(U_i + L_i - 2T_i)X_i + U_iT_i + L_iT_i - 2U_iL_i} \quad (9)$$

式中,标准化指数S_i表示第i年某项生态服务价值;U_i为某项服务价值的最大值;L_i为某项服务价值的最小值;X_i表示第i年某项生态服务功能的实际价值;T_i表示临界阈值,为某项服务价值的均值。临界区的内部区域指的是各项指标的标准化值低于临界值[29],其范围为[-1,0];而外部区域则表示指标的标准化值超出临界值,范围为[0,1]。

各指标进行标准化后公式为:

$$S=\sum_{i\neq j}^{i,j}\frac{(S_i+1)(S_j+1)}{2n(n-1)} \tag{10}$$

表1　生态城市综合发展能力分级标准

Table 1　Classification standard for the comprehensive development capacity of Eco-cities

等级划分 Rank division	指数值 Exponential value	城市绿地发展能力定性评价 Qualitative evaluation of urban green space development ability
1	[0.75,1.00]	优良
2	[0.50,0.75]	较好
3	[0.25,0.50]	一般
4	[0.00,0.25]	较差

已知S值的范围设定为[0,1],且综合指数S的数值越高表明城市绿地的生态服务功能越显著[24]。通过计算出综合指数和分指数[30],再对生态服务价值的综合指数进行评定[31](表1),最后对生态服务价值进行全面评价。

1.3.4　生态经济协调度

生态经济协调度(EEH)是在研究时间框架内,单位面积生态系统服务价值的变化率与单位面积国内生产总值(GDP)变化率之间的比率[32]。

$$EEH=\frac{ESPP_r}{GDPP_r} \tag{11}$$

$$ESPP_r=\frac{ESP_j-ESP_i}{ESP_i} \tag{12}$$

$$GDPP_r=\frac{GDPP_j-GDPP_i}{GDPP_i} \tag{13}$$

式中,ESP_i、ESP_j分别为淮南市2012-2022这11年间始、末年份的单位面积绿地生态系统服务价值,$GDPP_i$、$GDPP_j$分别为淮南市2012-2022这11年间始、末年份的单位面积GDP[33]。

2　结果与分析

2.1　淮南市绿地生态系统服务价值评估分析

2.1.1　淮南市城市绿地系统变化分析

由表2可见,2012-2022年,城市绿地面积由4549 hm^2增至10 255 hm^2,园林绿地面积由4026 hm^2增至8301 hm^2,公园绿地面积由1250 hm^2扩大到2804 hm^2,人均公园绿地面积由11.75 m^2扩大到18.10 m^2,城市建成区绿化覆盖率由39.71%扩展到45.30%。由于寿县于2016年划入淮南市管理,因此2017年淮南市城市绿地面积大幅度增加。

2.1.2　淮南市城市绿地系统生态服务实际价值

依据水源涵养等8项指标计算得出2012-2022年淮南市绿地系统的生态系统服务总价值不断提高(表3),由2012年的2.28×10^8元增加到2022年的4.72×10^8元,净增加了2.45亿元,年均增长率约为7.8%。由图2可见,2016年之前,淮南市绿地生态服务价值增长较为缓慢,2012至2016年,总价值增加了0.46亿元,而2016到2022年,总价值增加了1.98亿元。这可能是因为自十九大以来,淮南市积极响应国家生态文明建设号召,坚定不移地推进绿色发展理念,将生态环境保护与经济社会发展深度融合,展现出了高度的责任感和前瞻性,坚持打造人与自然和谐共生的绿色美好家园,同时促进了经济社会的可持续发展[19]。

淮南市各项指标服务价值平均值从大到小依次为:保护生物多样性>释氧>固碳>降温>水源涵养>滞尘>休闲游憩>吸收氮氧化物。在淮南市生态服务构成中,生物多样性保护、释氧和固碳占比最大,总值超过80%,剩余服务价值占比不足20%。可以看出,淮南市生态服务价值主要表现在生物多样性保护、氧释放和固碳3个方面,对所在地的生态系统影响巨大,有利于促进淮南市生物多样性的保护、人体健康的保障和减轻淮南市的城市热岛效应,同时对于实现"碳达峰碳中和"目标与促进可持续发展具有现实意义。

2.2　淮南市绿地生态系统服务价值动态变化分析

本研究采用标准函数公式,对2012-2022年淮南市绿地的生态系统服务价值进行了计算,所得11年间绿地生态服务价值的综合指数分别为0.049、0.116、0.142、0.209、0.266、0.403、0.428、

表2 2012—2022年淮南市城市绿地变化过程

Table 2 Urban green space changing process in Huainan City from 2012 to 2022

年份 Year	绿化覆盖面积/hm^2 Green cover area	园林绿地面积/hm^2 Garden green area	公园绿地面积/hm^2 Park green area	建成区绿地率/% Green land rate in built—up area	建成区绿化覆盖率/% Green coverage rate of built—up area	人均公园绿地面积/m^2 Park green area per capita
2012	4549	4026	1250	36.68	39.71	11.75
2013	4709	4183	1270	36.77	39.72	12.00
2014	4710	4468	1294	36.77	39.72	12.17
2015	4827	4579	1325	36.93	40.05	12.29
2016	5017	4821	1379	38.14	40.80	12.60
2017	7165	6489	1904	38.66	41.71	13.85
2018	8458	6557	1947	38.78	42.02	13.14
2019	8469	6565	1948	38.23	41.43	12.93
2020	8625	6784	2161	35.70	38.22	13.79
2021	9103	7163	2235	36.49	39.47	14.25
2022	102 55	8301	2804	42.40	45.30	18.10

表3 2012—2022年淮南市绿地生态系统服务实际价值

Table 3 Actual value of ecosystem services provided by green spaces in Huainan City from 2012 to 2022 $\times 10^5$ 元

年份 Year	水源涵养 Water conservation	固碳 Carbon sequestration	释氧 Oxygen release	滞尘 Dust retention	保护生物多样性 Conservation of biodiversity	吸收氮氧化物 Absorption of nitrogen oxides	降温 Lower the temperature	休闲游憩 Leisure and Recreation	生态服务总价值 Total value of ecological services
2012	150.15	209.64	413.43	69.19	1 207.80	9.63	196.32	21.97	2 278.13
2013	156.00	214.02	429.55	71.89	1 254.90	10.01	203.97	22.83	2 367.17
2014	166.64	226.39	458.82	76.79	1 340.40	10.70	217.87	24.39	2 522.00
2015	170.78	235.41	470.22	78.70	1 373.70	10.96	223.28	24.99	2 588.04
2016	179.80	264.17	495.07	82.86	1 446.30	11.54	235.08	26.31	2 741.13
2017	242.01	361.99	666.36	111.53	1 946.70	15.53	316.42	35.42	3 695.96
2018	244.55	358.21	673.34	112.70	1 967.10	15.70	319.73	35.79	3 727.12
2019	244.85	374.36	674.06	112.83	1 969.50	15.71	320.12	35.83	3 747.26
2020	253.01	386.28	696.65	116.60	2 035.20	16.24	330.80	37.03	3 871.81
2021	267.15	381.27	735.57	123.11	2 148.90	17.15	349.28	39.10	4 061.53
2022	309.59	459.65	852.43	142.67	2 490.30	19.87	404.77	45.31	4 724.59

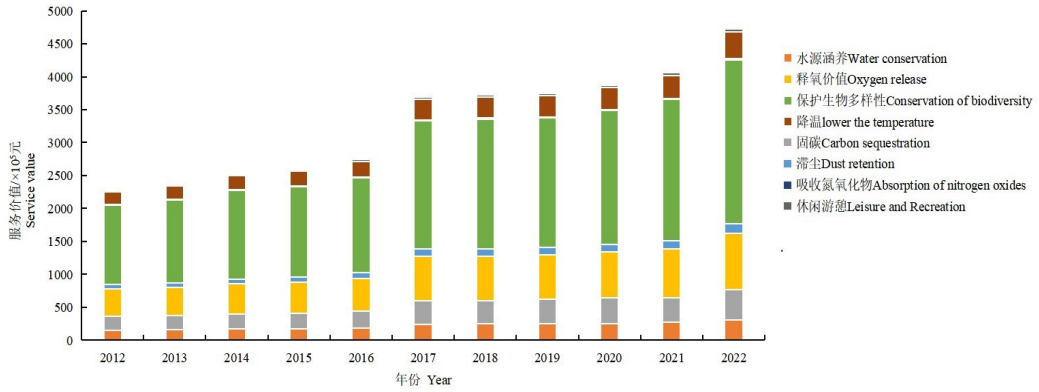

图2 2012-2022年淮南市城市绿地各指标生态服务价值

Fig.2 The ecological service value of various indicators of urban green space in Huainan City from 2012 to 2022

0.457、0.531、0.706、0.949。通过综合指数结果可见,淮南市的绿地生态系统服务价值呈现出持续增长的趋势,这主要是由于淮南市不断加大对绿地的投入建设,生态服务功能稳步上升,虽然2019年显著减少的降水量导致生态系统服务价值涨幅相对平缓,但从总体上看,该市的生态系统服务价值实现了显著的增强。

从图3可见,淮南市绿地系统水源涵养指数和固碳指数的年际波动较大,这一现象的主要驱动因素有2个:涵养水源指数的波动直接反映了年降水量的变化,同时影响地表水的蓄积与净化能力;固碳价值的变动与汇率政策调整密切相关,其计算受到各年度汇率波动的显著影响。除此2项指标外,其余6项指标的指数呈现逐年增长的趋势,表明这6项指标所代表的生态系统功能不断增强,生态系统服务价值不断提升。

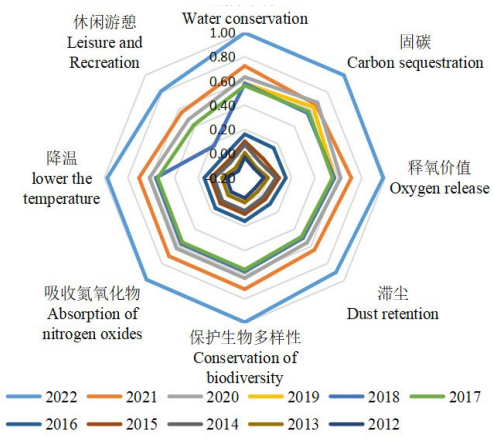

图3　2012-2022年淮南市绿地生态服务价值分项指数变化

Fig.3　Changes in individual indices of the green space ecological service value in Huainan City from 2012 to 2022

近11年来,淮南市城市绿地建设成效显著,2012-2019年综合指数增幅显著,增加了约0.408。2013年底,淮南市在成功创建全国绿化模范城市的基础上,启动了创建国家森林城市的工作,推动了十大森林增长工程建设[19]。截至2014年,淮南市建设森林示范长廊133.8 km,全市森林覆盖率达到29%。自2017年淮南市荣获第四届安徽省文明城市称号以来,市政府秉持国家的倡导,致力于构建文明与园林型城市,明显增强了对城市生态系统建设的投入力度,综合指数由2016年的0.266跃升为2017年的0.403。2019年6月,淮南市入选第二批国家全域旅游示范区,绿地空间得到进一步的拓展,绿地覆盖面积高达8469 hm^2,公园绿地面积1948 hm^2且数量已高达14个。2019-2022年,淮南市城市绿地建设呈现出正态的良性发展趋势,其服务价值综合指数由0.457增长到0.949,涨幅明显,在此期间,十涧湖国家城市湿地公园、龙湖公园等10座综合性公园点缀城中,构建了良好的生态格局[19]。

结合淮南市绿地生态系统服务价值综合指数的计算结果,并参照国内外综合指数分级方法对淮南市绿地生态系统服务功能的强弱作出定性评价,结果见表4。就淮南市绿地生态系统服务等级而言,该城市服务等级呈现出不断上升趋势。2012-2015年始终稳定在第4等级,2016年开始上升为第3等级,并维持了4年,直至2022年跃为第1等级。由此可见,淮南市绿地系统服务价值经历了由弱到强的变化过程,这说明淮南市在城市绿化建设中取得了较为优异的成绩和效果,对促进城市可持续发展具有重要意义。

表4　2012—2022年淮南市绿地系统服务等级划分

Table 4　Service grade classification of Huainan green space system from 2012 to 2022

年份 Year	生态服务价值综合指数 Comprehensive index of ecological service value	生态服务等级 Ecological service level	生态服务功能评价 Evaluation of ecological service functions
2012	0.049	4	较差
2013	0.116	4	较差
2014	0.142	4	较差
2015	0.209	4	较差
2016	0.266	3	一般
2017	0.403	3	一般
2018	0.428	3	一般
2019	0.457	3	一般
2020	0.531	2	较好
2021	0.706	2	较好
2022	0.949	1	优良

2.3　淮南市生态经济协调度分析

生态环境作为人类生存基础与经济增长的关键支撑,其容量有限。然而城市经济发展常加剧生态环境承载压力,因此,确保城市生态经济的协调与可持续性发展至关重要。

生态经济协调度(EEH)是衡量一个地区生态

与经济发展协调程度的指标,参考生态城市指标体系与评价方法的研究成果[27],0≤EEH<0.5为低度协调,0.5≤EEH<1为中度协调,EEH≥1为高度协调;EEH<-1为高度冲突,-1≤EEH<-0.5为中度冲突,-0.5≤EEH<0为低度冲突;EEH<0为生态经济不协调区。

根据公式(11)~(13)计算可得,淮南市近十年EEH指数为0.92,处于中度协调水平,近十年城市经济的增长速率超过了绿地生态系统服务价值的提升幅度,但总体而言,生态系统服务价值展现出逐年递升的趋势。研究结果显示,淮南市在促进经济增长的同时,也注重生态环境的保护。但是由于淮南市属于煤炭资源型城市,环境问题的隐患仍然存在。EEH指数为0.92接近高度协调水平,由此可见淮南市近十年加快建设宜居、绿色的人文城市,注重构建绿色发展的长效机制,加强了生态环境保护法律法规建设,不断完善生态环境监管体系,提高其生态环境治理能力。通过加强跨部门协作和区域联防联控,形成了生态环境保护的强大合力,使淮南这座老工业城市焕发出新的生机活力,相较于同类型城市,淮南市的生态经济发展有一定优势,展现出良好的发展潜力及重要的参考意义。

3 讨论

本研究分析了2012-2022年淮南市绿地系统动态演变特征,发现其生态系统服务价值从22.78亿元跃升至47.25亿元,呈现超线性增长(年均增速7.8%),显著超越同期GDP增速,印证了城市生态建设从"增量扩张"向"提质增效"的范式转型。这一趋势不仅与国家新型城镇化规划的"生态优先"导向深度耦合,更通过调节服务主导(占比超65%)与文化服务短板(休闲游憩不足10%)的结构性特征,凸显"自然人工复合系统"的功能张力与优化方向。研究进一步识别生态阈值突破的阶段性机制:初期依赖"见缝插绿"的量变积累(2012-2017年),后期依托采煤沉陷区修复等"公园城市"实践触发质变跃升(2018-2022年)。当前生态经济协调度(EEH=0.92)为中等水平的结果表明,需通过"网络化服务供给+立体化功能增值"破解效率瓶颈。尽管因指标可量化限制(仅纳入8项)导致生态服务价值估算偏保守,但创新性引入休闲游憩价值评估与全排列多边形图示法,为多尺度城市绿地综合评价提供了方法论拓展。

2012-2022年间淮南市绿地系统生态服务总价值倍增,生态建设投入超线性增长,此趋势与《国家新型城镇化规划(2014-2020)》中"生态空间占比≥15%"的政策导向高度契合,反映城市规划从"土地扩张"向"品质提升"的范式转变。除此之外,淮南市绿地系统以调节服务为主导,占比超65%,印证了城市绿地作为"自然人工复合系统"的生态本底功能,但是其文化服务滞后,休闲游憩占比低于10%,未来需加强文化服务的相关建设。生态系统服务功能强弱的变化趋势结果表明,近11年的服务功能由弱到强的转变,实质是生态阈值的突破过程,首先是量变阶段(2012-2017年):通过"见缝插绿"工程实现绿地面积扩张,推动基础调节功能提升。其次是质变阶段(2018-2022年):依托"公园城市"理念实施生态修复工程,例如针对淮南市的采煤沉陷区的治理,促进生物多样性保护等功能的提升。生态经济协调度的变化趋势表明目前淮南市EEH指数(0.92)虽达到中等协调等级,但与高度协调指数(0.95)仍有差距,未来应当构建"生态廊道+社区公园"网络体系,提升服务可达性,推广"绿地+"模式,例如生态停车场、立体绿化等,提高单位面积服务产出效率。同时加大创新力度,建立生态产品价值实现机制,引导社会资本参与绿地建设运营。

在构建用于评估城市绿地生态系统服务价值的指标体系过程中,由于部分指标难以量化和部分数据的缺失,本研究仅选取了全部指标中的8项指标进行价值估算,使得总价值估算结果略低于实际绿地生态系统服务的总价值。本研究主要依据城市绿地面积及其各项生态系统服务价值进行分析,但城市绿地生态系统服务的功能不仅仅局限于绿地面积的大小,因此,未来的研究应当从城市绿地系统的结构特征、空间格局以及景观美学等多个维度开展,以全面评估城市绿地生态系统服务的价值。相较于以往对城市绿地生态系统的研究,本研究在估算各类绿地系统生态服务价值的基础上,增加休闲游憩的服务价值评估,进一步采用全排列多边形图示法,结合生态经济协调度指数,在系统整体视角下综合评价了各类生态服务的综合功能,可对其它城市绿地系统生态服务

功能的综合评价提供有益的参考。

本研究结合生态经济学基本理念,通过对各项指标综合效应进行科学的定性与定量评估,揭示了淮南市在近十年内绿地系统的具体状况,淮南市作为中国东部重要的煤炭工业基地,长期面临资源开采引发的生态问题,对其进行生态系统服务价值研究也为同类型资源型城市的生态韧性提升提供了可行性方案。通过跨学科研究,能够更加全面地理解淮南市生态系统与人类社会的相互关系,为制定更加科学合理的绿色发展政策提供有力依据。同时,增加生态系统服务价值指标中的休闲游憩价值指标,以弥补淮南市生态系统文化服务价值的评估空缺,可为淮南市的生态建设和健康发展提供理论依据。综上所述,虽然淮南市的生态系统服务价值逐年上升,但从生态经济协调度分析结果来看,淮南市目前处于中度协调水平,区域城市经济发展速率仍高于生态服务价值发展速率,因此未来发展城市经济的同时需注重对生态环境的保护,完善相关的法律来保障城市绿地不受破坏尤为重要。未来的城市绿地规划应与绿色产业体系的构建相结合,推动城市经济的绿色转型,形成创新驱动的城市经济发展模式,切实有效地促进淮南市的可持续发展,同时可以为皖北其它城市的发展规划提供理论支持。

4　结论

2012-2022年间,淮南市在城市绿地建设方面成绩斐然,绿地系统的生态服务总价值不断提高,由2012年的227 8.13×10^5元增加到2022年的472 4.59×10^5元,净增加了2.45亿元,年均增长率约为7.8%。在这11年中,城市绿地生态系统的服务价值整体上呈现出持续上升的态势,展现出积极的发展趋势。根据淮南市绿地生态服务各项指标及综合指数的计算结果分析,得出历年平均价值大小排序依次为:保护生物多样性>释氧>固碳>降温>水源涵养>滞尘>休闲游憩>吸收氮氧化物。淮南市绿地生态服务价值中休闲游憩的占比较低,因此未来仍需不断完善绿地系统的规划,加大公园的建设发展力度,提高市民的生活质量和幸福指数。近11年间,淮南市绿地系统生态服务功能由弱到强的转变体现了其生态系统服务功能的不断完善,对促进实现城市可持续发展具有重要意义。

当前,淮南市生态经济协调度(EEH指数)达0.92,生态经济协调发展的状态处于中等协调、接近高度协调的水平,由此可见,经济发展过程中需要持续强化对生态环境的保护,关注民之所需,建设有温度、有质感的幸福城市,对促进淮南市生态经济的可持续发展具有重要意义。

参　考　文　献

[1]刘心雨,李明玉,余洲,等.图们江地区城市绿地生态系统服务价值估算与评价研究——以延吉市为例[J].延边大学农学学报,2021,43(1):84-92.
Liu X Y, Li M Y, Yu Z, et al. Estimation and evaluation of ecosystem service value of urban green space value in the Tumen River area: acase study in Yanji City[J]. Agricultural Science Journal of Yanbian University, 2021, 43(1): 84-92.

[2]赵煜,赵千钧,崔胜辉,等.城市森林生态服务价值评估研究进展[J].生态学报,2009,29(12):6723-6732.
Zhao Y, Zhao Q J, Cui S H, et al. Progress in ecological services evaluation of urban forest[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6723-6732.

[3]王瀚宇.城市绿地生态系统服务量化与空间分布公平性分析——以哈尔滨市秋林地区为例[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.
Wang H Y. Quantification of urban green space ecosystem services and analysis of spatial distribution fairness—a case study of Qiu Lin, Harbin [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017.

[4]徐华清,杨水平,陈玉碧,等.城市绿地生态服务功能价值评估——以北京林业大学为例[J].宁夏农林科技,2014,55(2):48-51.
Xu H Q, Yang S P, Chen Y B, et al. Evaluation of ecological service function of urban green space-taking Beijing forestry university as an example[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2014, 55(2): 48-51.

[5]靳芳,鲁绍伟,余新晓,等.森林生态系统服务功能价值评估问题[J].西北林学院学报,2005,20(3):18-22,43.
Jin F, Lu S W, Yu X X, et al. On forest ecosystem services and its evaluation in China[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20(3):18-22,43.

[6]Naime J, Mora F, Sánchez-Martínez M, et al. Economic valuation of ecosystem services from secondary tropical forests: trade-offs and implications for policy making[J]. Forest Ecology and Management, 2020, 473: 118294.

[7]Taffarello D, Bittar M S, Sass K S, et al. Ecosystem service valuation method through grey water footprint in partially-monitored subtropical watersheds [J]. Science of the Total Environment, 2020, 738: 139408.

[8]咎欣,张玉玲,贾晓宇,等.永定河上游流域水生态系统服务价值评估[J].自然资源学报,2020,35(6):1326-1337.
Zan X, Zhang Y L, Jia X Y, et al. Evaluation on the ecosystem

services value of the upper reaches of Yongding River [J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(6): 1326-1337.

[9]Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387: 253-260.

[10]Zoulia I, Santamouris M, Dimoudi A. Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 156: 275-292.

[11]Larondelle N, Haase D. Urban ecosystem services assessment along a rural-urban gradient: a cross-analysis of European cities [J]. Ecological Indicators, 2013, 29: 179-190.

[12]范丕湘. 成都市居住区绿化效益研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2003.
Fan P X. Study on greening benefits of residential areas in Chengdu[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2003.

[13]柳云龙, 朱建青, 施振香, 等. 上海城市绿地净化服务功能及其价值评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(5): 28-32.
Liu Y L, Zhu J Q, Shi Z X, et al. Purification services and their value assessment of city green space in Shanghai [J]. China Population Resources and Environment, 2009, 19(5): 28-32.

[14]张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等. 青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2576-2584.
Zhang X L, Xu Z J, Zhang Z H, et al. Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(9): 2576-2584.

[15]武文婷, 夏国元, 包志毅. 杭州市城市绿地固碳释氧价值量评估[J]. 中国园林, 2016, 32(3): 117-121.
Wu W T, Xia G Y, Bao Z Y. The assessment of the carbon fixation and oxygen release value of the urban green space in Hangzhou[J]. Chinese Landscape Architecture, 2016, 32(3): 117-121.

[16]李娴, 张晓琪, 马云晖, 等. 基于红外相机的校园绿地集水池生物多样性提升效果研究[J]. 园林, 2023, 40(2): 51-59.
Li X, Zhang X Q, Ma Y H, et al. Using camera traps to detect the enhancement effect of collection pool on biodiversity in campus green spaces [J]. Landscape Architecture Academic Journal, 2023, 40(2): 51-59.

[17]李晖, 廖宝怡, 郭静, 等. 历史与未来——基于全排列多边形指标法的校园遗产价值评价与保护研究[J]. 园林, 2024, 41(8): 64-73.
Li H, Liao B Y, Guo J, et al. History and future: evaluation and conservation of campus heritage values based on fully arranged polygon graphical indicator method [J]. Landscape Architecture Academic Journal, 2024, 41(8): 64-73.

[18]曾福生, 胡玄超. 基于全排列多边形图示法的湖南省耕地多功能强度与协调度研究[J]. 水土保持通报, 2021, 41(4): 166-173.
Zeng F S, Hu X C. Multi-functional intensity and coordination degree of cultivated land in Hu′nan Province based on method of entire array polygon diagram[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(4): 166-173.

[19]吴安云, 李湘凌, 赵燕, 等. 基于CENTURY模型的淮南市农田土壤有机碳动态模拟[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2024, 47(10): 1305-1313.
Wu A Y, Li X L, Zhao Y, et al. Simulation of soil organic carbon dynamics in farmland in Huainan City based on CENTURY model [J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2024, 47(10): 1305-1313.

[20]张超, 吴群, 彭建超, 等. 城市绿地生态系统服务价值估算及功能评价——以南京市为例[J]. 生态科学, 2019, 38(4): 142-149.
Zhang C, Wu Q, Peng J C, et al. Calculation of the value and evaluation of the function for ecosystem services of urban green space: a case study in Nanjing[J]. Ecological Science, 2019, 38(4): 142-149.

[21]欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values [J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 607-613.

[22]宋国宝, 潘耀忠, 张树深, 等. 北京市植被净生产力遥感测量与分析[J]. 资源科学, 2009, 31(9): 1568-1572.
Song G B, Pan Y Z, Zhang S S, et al. Measurement and analysis for the net primary productivity from remote sensing in Beijing City[J]. Resources Science, 2009, 31(9): 1568-1572.

[23]武文婷. 杭州市城市绿地生态服务功能价值评估研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2011.
Wu W T. Study on evaluation of ecological service function value of urban green space in Hangzhou[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2011.

[24]段彦博, 雷雅凯, 吴宝军, 等. 郑州市绿地系统生态服务价值评价及动态研究[J]. 生态科学, 2016, 35(2): 81-88.
Duan Y B, Lei Y K, Wu B J, et al. Evaluation and dynamic study on the ecological service value for urban green space system in Zhengzhou[J]. Ecological Science, 2016, 35(2): 81-88.

[25]张彪, 高吉喜, 谢高地, 等. 北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估[J]. 生态学报, 2012, 32(24): 7698-7705.
Zhang B, Gao J X, Xie G D, et al. Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7698-7705.

[26]戴培超. 城市公园绿地生态系统文化服务价值及其估算方法研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2020.
Dai P C. Study on cultural service value of urban park green space ecosystem and its estimation method [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2020.

[27]吴琼, 王如松, 李宏卿, 等. 生态城市指标体系与评价方法[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2090-2095.
Wu Q, Wang R S, Li H Q, et al. The indices and the evaluation method of eco-city [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(8): 2090-2095.

[28]龚艳冰,张继国,梁雪春.基于全排列多边形综合图示法的水质评价[J].中国人口·资源与环境,2011,21(9):26-31.
Gong Y B, Zhang J G, Liang X C. Water quality assessment of east route based on entire-array-polygon evaluation method [J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(9): 26-31.

[29]许晶,陈宏伟,刘娜,等.沈阳市2004—2014年城市绿地生态系统变化及生态服务价值差异[J].沈阳大学学报(自然科学版),2018,30(6):458-464.
Xu J, Chen H W, Liu N, et al. Urban green space ecosystem changes and differences in ecological service value in Shenyang City from 2004-2014 [J]. Journal of Shenyang University (Natural Science), 2018, 30(6): 458-464.

[30]姚晓洁,杨思嘉,陈璐.宿州市城市绿地生态服务价值评价及动态变化特征分析[J].中北大学学报(自然科学版),2023,44(2):146-153.
Yao X J, Yang S J, Chen L. Evaluation of urban green space ecological service value and analysis of dynamic change characteristics in Suzhou City[J]. Journal of North University of China (Natural Science Edition), 2023, 44(2): 146-153.

[31]李笑诺,施晓清,王成新,等.烟台生态城市建设指标体系构建与评价[J].生态科学,2012,31(2):206-213.
Li X N, Shi X Q, Wang C X, et al. Evaluation and management for eco-city construction indicator system in Yantai [J]. Ecological Science, 2012, 31(2): 206-213.

[32]吴建寨,李波,张新时.生态系统服务价值变化在生态经济协调发展评价中的应用[J].应用生态学报,2007,18(11):2554-2558.
Wu J Z, Li B, Zhang X S. Ecosystem service value and its aplication in evaluation of eco-economic harmonious development[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(11): 2554-2558.

[33]肖云飞,魏云龙,单仁红,等.南昌城市绿地生态系统服务功能价值评估及生态经济协调度研究[J].广东园林,2017,39(1):32-36.
Xiao Y F, Wei Y L, Shan R H, et al. Ecosystem service essessment and eco-economic harmony index of urban green space in Nanchang[J]. Guangdong Landscape Architecture, 2017, 39(1):32-36.

(编辑:郭玥微)