

上海湿地资源禀赋、生态价值与生态安全格局构建*

Resource Endowment, Ecological Value and Ecological Security Pattern of Shanghai Wetlands

彭 思 周柯岑 许志楠 王祥荣 PENG Si, ZHOU Kecen, XU Zhinan, WANG Xiangrong

摘 要 上海湿地格局在长三角区域生态安全格局中具有重要战略地位,也是城市生态安全和“双碳”战略的重要自然资本。基于《上海市第二次湿地资源调查》、遥感解译、统计资料和野外样方地现场调查数据,系统分析了上海湿地的资源禀赋、空间格局和生态功能及其价值,提出了保护与管控对策。研究表明:(1) 上海湿地类型丰富,面积广泛,以近海与海岸湿地为主体,整体呈现“环状+放射状”格局,形成以崇明东滩、九段沙、淀山湖和南汇东滩为核心的湿地网络;(2) 上海湿地在水源涵养、防洪调蓄、碳汇固持和生物多样性维系等方面贡献显著,综合生态系统服务价值超过480亿元/年;(3) 总体上优化“北部河口保育—南部滨海屏障—西部水源涵养—中心城区修复”的功能分区格局,并提出基于自然的解决方案(NbS)、生态补偿机制、公众参与等优化管控路径。研究成果为上海在“双碳”战略和长三角一体化背景下的湿地保护与生态安全格局构建提供了科学支撑。

Abstract Shanghai's wetlands hold a strategic position in the ecological security framework of the Yangtze River Delta and represent vital natural capital for urban ecological safety and the national “dual carbon” strategy (carbon peaking and carbon neutrality). Based on data from the Second Shanghai Wetland Resource Survey, remote sensing interpretation, statistical records, and field investigations, this paper analyzes the resource endowments, spatial patterns, and ecological values of Shanghai's wetlands. The findings reveal that: (1) Shanghai possesses diverse wetland types with extensive coverage primarily consisting of offshore and coastal wetlands. The overall spatial arrangement follows a “ring and radial” pattern which forms a network centered on Chongming Dongtan, Jiuduansha, Dianshan Lake, and Nanhui Dongtan. (2) These wetlands contribute significantly to water conservation, flood regulation, carbon sequestration, and biodiversity maintenance with a total ecosystem service value exceeding 48 billion yuan annually. (3) The research suggests optimizing a functional layout that includes northern estuary conservation, southern coastal protection, western water source conservation, and central urban restoration. This paper also proposes management pathways such as Nature-based Solutions (NbS), ecological compensation mechanisms, and public participation. These results provide scientific evidence for wetland protection and the development of ecological security patterns within the context of the “dual carbon” strategy and the integration of the Yangtze River Delta.

关键词 上海湿地;资源禀赋;生态价值;生态安全格局;管控路径

Key words Shanghai wetlands; resource endowment; ecological value; ecological security pattern; control path

文章编号 1673-8985 (2026) 01-0019-06 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20260102

作者简介

彭 思

复旦大学环境科学与工程系
博士研究生

周柯岑

复旦大学环境科学与工程系
博士研究生

许志楠

复旦大学环境科学与工程系
博士后,博士

王祥荣 (通信作者)

复旦大学环境科学与工程系
教授,博士,xrxwang@fudan.edu.cn

0 引言

湿地是地球上最具生产力和多功能性的生态系统,被誉为“地球之肾”,在涵养水源、防洪调蓄、净化水质、固碳减排、生物多样性维系、文化服务等方面发挥着不可替代的作

*基金项目:上海市规划和自然资源局《上海湿地生态空间发展专项规划(2024—2035)》项目资助。

用^[1-2]。然而,随着全球气候变化和快速城市化,湿地退化和功能弱化已成为普遍问题^[3-5]。湿地保护与合理利用不仅是生物多样性保护的重要内容,也是提升城市生态安全和应对气候变化的关键途径^[6-8]。

在“双碳”战略和全球气候治理的背景下,中国提出“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”的目标。湿地作为重要的碳汇系统,其单位面积固碳能力通常高于森林和草地^[9-10],在支撑“双碳”战略方面具有独特作用。若保护得当,湿地是重要的碳汇;若退化严重,则可能转化为碳源。因此,系统评估和优化湿地功能,对实现碳中和、提升城市韧性均具有战略意义^[11-12]。

上海市是典型的河口型大都市,崇明东滩、九段沙、淀山湖等典型湿地在长三角区域生态安全格局中处于核心地位,同时还是东亚—澳大利西亚候鸟迁飞通道的重要节点,具有全球生物多样性意义^[13]。2024年,崇明东滩被列入世界自然遗产,凸显了上海市湿地在国际湿地保护体系中的战略地位。近年来,上海市通过严格落实围填海“零增长”、退养还湿、外来物种治理等措施,建立了多层次湿地保护体系,湿地保护率由2010年的22.4%提升至2022年的34.5%^[14]。人工湿地在水源保护、雨洪调蓄和碳汇固持中作用日益突出,但仍存在空间破碎化、建设用地侵占、功能区不均衡、生态补偿机制不完善、公众参与度不足等问题^[15]。上述矛盾在“双碳”战略背景下更为突出,湿地保护与修复的紧迫性亟需强化。

已有研究多集中于湿地资源与分布格局、生态功能评估及保护管控,但仍缺乏从“双碳”战略和生态安全格局视角出发的系统性分析。特别是在超大城市背景下,如何识别湿地系统性格局,并提出科学的空间管控路径,尚需进一步探索。本文以上海市为研究区域,基于湿地调查、遥感解译和生态功能价值评估,旨在:(1)明确上海湿地的资源禀赋与空间格局特征;(2)量化湿地的主要生态功能及其价值,突出其在“双碳”战略中的

作用;(3)提出空间优化与管控路径,为提升城市生态安全与构建全球湿地之城提供科学支撑。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

上海市位于长江入海口(30°40′-31°53′N, 120°52′-122°12′E),陆域总面积约6 340.5 km²,地势低平,平均海拔不足4 m,属北亚热带季风气候。年均气温约17°C,降水量约1 100 mm。全市湿地面积约37.70万hm²,呈现“环状+放射状”空间分布(见图1)。外围滨海湿地形成生态屏障环,河流与湖泊湿地沿水系呈放射状分布,共同构建了上海市独特的湿地生态网络。

1.2 数据来源

本文在数据获取上,结合了上海市第二次湿地资源调查^[16]成果、多源遥感影像、统计年鉴和野外实地调查数据,以确保结果的科学性和可靠性(见表1)。特别是野外调查获取了典型湿地的样点数据和生物多样性记录,为遥感解译提供了验证和补充。

1.3 研究方法

采用当量因子法^[17],结合市场价值法与替代成本法,使用InVEST模型评估湿地在水源涵养、防洪调蓄、碳汇、生物多样性维系、文化服务等方面的功能价值,具体生态系统

服务价值计算公式如表2所示。

2 上海湿地资源禀赋与空间格局

2.1 湿地类型与构成

根据《上海市第二次湿地资源调查》结果,上海湿地总面积为37.70万hm²。其中,近海与海岸湿地29.67万hm²,河流湿地0.73万hm²,湖泊湿地0.58万hm²,沼泽湿地0.93万hm²,人工湿地5.79万hm²。具体湿地类型与面积统计如表3所示。

总体来看,上海市湿地结构呈现“以近海与海岸湿地为主体,人工湿地为补充”的格局,既反映了典型河口滨海特征,也体现了人类活动对湿地格局的深刻影响。

2.2 湿地空间格局分布特征

上海湿地空间分布具有鲜明的区域性特征,可分为以下4个主要区域(见图2),包括北

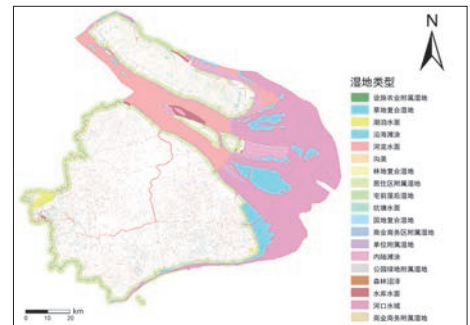


图1 上海湿地资源分布图
Fig.1 Distribution of wetlands in Shanghai

资料来源:笔者自绘,底图来源于上海市第二次湿地资源调查数据。

表1 数据来源与用途

Tab.1 Data sources and applications

数据类别	来源与年份	空间与时间范围	主要内容/用途
湿地面积数据	上海市绿容局《上海市第二次湿地资源调查》(2022年)	上海市域,2018—2021年	湿地类型、面积、分布、典型样点信息
统计与监测数据	《上海市统计年鉴》《水资源公报》等(2000—2022年)	上海市域,2000—2022年	社会经济、气候水文数据,支撑功能价值估算
湿地调查数据	上海市绿容局《上海市湿地空间调研普查》(2024年)	上海市域,2024年	覆盖上海16个区,涵盖城镇、郊野、滨海3大类型的湿地空间本底调研数据
土地利用数据	ESRI提供的全球土地覆盖产品(2021年),10 m,11类	上海市域,2021年	湿地分布与景观格局分析
水系数据	OpenStreetMap开源数据(2024年6月更新),shapefile格式	上海市域,2024年	水系要素提取,支撑生态格局分析

资料来源:笔者自制。

部与东北部河口湿地密集区,集中在崇明岛东滩、横沙湿地和九段沙区域,是候鸟栖息繁殖的重要区域,也是抵御风暴潮与海平面上升的生态屏障;东部与南部滨海湿地屏障区,范围覆盖在浦东南汇至奉贤、金山沿海分布大面积潮滩、盐沼和养殖塘,在固碳促淤、削减波浪能量和海岸防护方面作用突出;西部湖泊与河网湿地,以青浦淀山湖及周边河网为核心,是重要的饮用水水源地和生态屏障;中心城区小微湿地分布区,主要分布于黄浦江、苏州河两岸及部分公园,面积虽小,但在改善人居环境和提供文化服务方面具有独特价值。

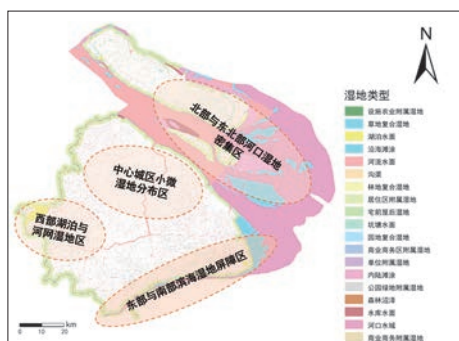


图2 上海湿地空间格局图

Fig.2 Spatial pattern diagram of Shanghai wetlands

资料来源:笔者自绘,底图来源于上海市第二次湿地资源调查数据。

整体空间格局呈“环状+放射状”,即外围滨海湿地形成连续生态屏障,河流与湖泊湿地沿水系呈放射状延伸,城区小微湿地点状分布,共同构成市域湿地网络。

2.3 上海湿地系统在长三角生态安全格局中的作用

上海湿地系统不仅是市域生态安全的重要基础,也在长三角区域生态安全格局中发挥着关键作用。近海与海岸湿地带状分布于长江口与杭州湾北岸,与江苏南通和浙江嘉兴的滨海湿地相连,共同形成华东沿海的重要生态屏障,在抵御海平面上升、风暴潮及盐水入侵等方面作用显著,是长三角地区应对气候变化的重要自然防线。同时,西部的淀山湖作为太湖水系的重要组成部分,与苏浙水网密切相连,其湿地涵养水源和水质净化功能对于上海及周边城市的饮用水安全具有战略意义。崇明东滩和九段沙湿地则是东亚—澳大利西亚候鸟迁飞通道的重要节点,每年吸引数百万只候鸟停歇和繁殖,包括黑脸琵鹭 (*Platalea minor*)、勺嘴鹬 (*Calidris pygmaea*) 等全球受胁物种,使上海湿地不仅具有区域意义,更在全球生物多样性网

络中占据独特地位。在长三角生态绿色一体化发展战略背景下,上海湿地作为区域生态格局的核心节点,还与苏浙湿地共同构成跨区域生态廊道和生态补给系统,为区域一体化发展提供生态支撑。

综上,上海湿地以“类型多样、近海为主、人工补充”为特征,空间格局呈现“环状+放射状”,构建了市域及长三角区域的生态安全屏障;其中近海与海岸湿地是主体,河流与湖泊湿地保障水资源安全,小微湿地则在中心城区发挥局地生态与文化功能。从全球视野来看,上海湿地不仅服务于区域生态安全和城市可持续发展,还在全球生态网络和候鸟迁飞体系中具有不可替代的重要地位。

3 上海湿地生态功能与价值评估

湿地作为重要的自然生态系统类型之一,其核心价值体现在生态系统服务功能上。上海湿地在水源涵养、水质净化、防洪调蓄、碳汇固持、生物多样性维系、文化服务等方面发挥着不可替代的作用。本文基于当量因子法、市场价值法与替代成本法,结合《上海市第二次湿地资源调查》数据,对上海湿地的主要生态功能进行了定量评估。

3.1 水源涵养与水质净化功能

上海湿地通过调蓄径流、补给地下水和削减污染物,维持了城市水循环稳定。淀山湖及周边湿地作为重要饮用水水源地,对全市供水安全意义重大。估算表明,湿地年均涵养水量约15亿 m^3 ,相当于居民生活用水量的1/3,重点湿地区域水源涵养功能空间格局如图3所示。

表3 上海湿地类型与面积统计表

Tab.3 Wetland types and areas in Shanghai		
编号	湿地类型	湿地类型面积/万 hm^2
1	近海与海岸湿地	29.67
2	河流湿地	0.73
3	湖泊湿地	0.58
4	沼泽湿地	0.93
5	人工湿地	5.79

资料来源:笔者自制,数据来源于上海市第二次湿地资源调查数据。

表2 湿地生态系统服务价值评估方法

Tab.2 Evaluation methods of wetland ecosystem service values

功能类型	计算公式	参数说明
水源涵养	$V_1=(P-E) \times A \times W$	V_1 为湿地涵养水源功能价值; P 为年降水量; E 为年蒸散量; A 为湿地面积; W 为单位天然水价值,采用水库蓄水成本价格0.67元/ m^3 ,使用影子工程法计算湿地涵养水源的单位价值量 ^[18]
水质净化	$V_2=A \times Q$	V_2 为湿地净化功能价值; A 为湿地面积; Q 为单位面积湿地生态系统净化功能价值,取22 848.26元/ hm^2
生物多样性维系	$H=A \times N$	H 为生物多样性维系功能价值; A 为湿地面积; N 为单位面积湿地生物多样性维系功能价值,取2 154.63元/ hm^2
防洪	R_1	通过InVEST雨水径流滞留模型计算径流减少量,通过叠加洪水范围潜力和已建基础设施的信息来计算潜在的经济损失
雨洪调蓄	R_2	通过InVEST的洪水风险缓解模型计算每年的雨水滞留量,滞留服务的价值使用雨水基础设施的重置成本来计算
科普与教育	$k_1=L_1 \times A$	k_1 为湿地科普与教育功能价值; L_1 为单位面积湿地科普与教育价值,取3 531.7元/ hm^2 , A 为湿地面积
旅游娱乐	$k_2=L_2 \times A$	k_2 为湿地科普与教育功能价值; L_2 为单位面积湿地科普与教育价值,取4 837.6元/ hm^2 , A 为湿地面积
生态系统服务总价值	$ESV=V+H+R+K$ $V=V_1+V_2$ $R=R_1+R_2$ $K=k_1+k_2$	各子功能价值之和

资料来源:笔者自制。

示。使用影子工程法计算上海湿地涵养水源的生态价值为106.39亿元,湿地净化功能生态价值为86.14亿元/年。

3.2 防涝与雨洪调蓄功能

作为典型的河口型城市,上海长期面临洪涝威胁。湿地通过蓄洪滞洪、削峰错峰,显著降低洪水风险。空间模拟结果(见图4-图5)显示,上海重点湿地区域雨洪调蓄生态功能高值为 $1.46 \times 10^{-8} \text{ m}^3/(\text{yr} \cdot \text{像元})$ 、低值为 $0 \text{ m}^3/(\text{yr} \cdot \text{像元})$,防洪生态功能最高值为 $3.20 \times 10^{-7} \text{ m}^3/(\text{yr} \cdot \text{像元})$ 、最低值为 $1.15 \times 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{yr} \cdot \text{像元})$ (取其绝对值)。其中湿地防洪调蓄功能高值区域主要分布在西南部、东北部沿海区域,东北部湿地以沿海、沿江滩涂为主,西南部以农田、自然水系为主,该区域地势低洼,水系发达,有利于雨水的汇集和存储。低值区域集中在上海市东部和部分中部的城市化核心区,由于该地区建筑密集,地表硬化严重,天然的雨洪调蓄功能大幅下降。北部的蓝色低值区域由于城市建设和基础设施(例如船运码头)开发对湿地的压缩,该区域湿地的防洪功能大幅降低。全市湿地年均滞蓄洪水量约3亿 m^3 ,崇明岛、奉贤滨海滩涂及黄浦江沿岸湿地是最重要的防洪调蓄区。与人工排水系统相比,自然湿地具有更高的成本效益,若以人工调蓄工程替代湿地调蓄功能,建设成本将超过200亿元。

3.3 碳汇固持功能

湿地是全球重要碳汇。上海市湿地系统年均净碳汇量超过250万 t CO_2 当量,占全市社会碳排放的3%至5%。滨海滩涂和河口湿地碳汇能力最高,人工湿地次之。若结合碳市场交易价格,湿地碳汇功能每年可产生约20亿元经济价值。湿地保护与修复能有效提升碳汇水平,是落实“双碳”战略的重要抓手。

3.4 生物多样性功能

上海市湿地是区域生物多样性的重要载体,共记录湿地植物321种、脊椎动物307种、

湿地鸟类182种,其中黑脸琵鹭、勺嘴鹬等22种为全球受胁物种。崇明东滩和九段沙是东亚—澳大利西亚候鸟迁飞通道的关键节点,每年吸引数百万只候鸟迁徙、繁殖。按当量因子法估算,生物多样性维系价值约8.12亿元/年。

3.5 文化与教育服务

上海市已建成多处湿地公园与保护区,如崇明东滩、南汇嘴观海公园、青浦郊野公园等,每年接待游客逾500万人次,带动旅游收入超过20亿元。以当量因子法估算,旅游休闲价值约18.24亿元/年,科普教育价值约13.31亿元/年。

3.6 综合生态系统服务价值

综合水源涵养、防洪调蓄、碳汇固持、生物多样性、旅游休闲、科研文化等功能,2024年上海市湿地生态系统服务总价值约为480.67亿元/年,具体如表4所示。其中,防涝与雨洪调蓄功能价值最高,作用突出,达

表4 2024年上海湿地生态系统服务价值估算表
Tab.4 Estimated ecosystem service values of wetlands in Shanghai

生态功能	服务价值/亿元	百分比/%
水源涵养	106.39	22.13
水质净化	86.14	17.92
防洪调蓄	228.07	47.45
碳汇固持	20.40	4.24
生物多样性	8.12	1.69
旅游休闲	18.24	3.80
科研文化	13.31	2.77

资料来源:笔者自制。

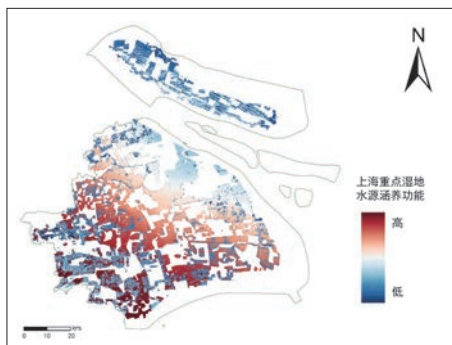


图3 上海重点湿地水源涵养功能
Fig.3 Spatial pattern of water conservation functions in key wetland areas of Shanghai

资料来源:笔者自绘,上海市行政边界底图来源于国家地理信息公共服务平台。

228.07亿元(占47.45%)。这一结果与国内外最新研究结论相匹配,表明城市湿地在应对气候变化和服务人类福祉中发挥核心作用^[19]。水源涵养与水质净化功能价值为106.39亿元(占22.13%),在保障饮用水安全中具有核心意义。碳汇固持功能贡献20.40亿元(占4.24%);生物多样性维系价值8.12亿元(占1.69%);旅游休闲与科研文化功能分别为18.24亿元(占3.80%)和13.31亿元(占2.77%)。

4 上海湿地保护与空间管控对策

4.1 湿地保护成效与问题

近年来,上海市在湿地保护与修复方面取得了显著成效。通过实施《上海市湿地保护修复制度实施方案》《上海市湿地名录管理办法(暂行)》等政策,严格落实围填海“零增长”要求,并相继建设了崇明东滩、九段沙、中

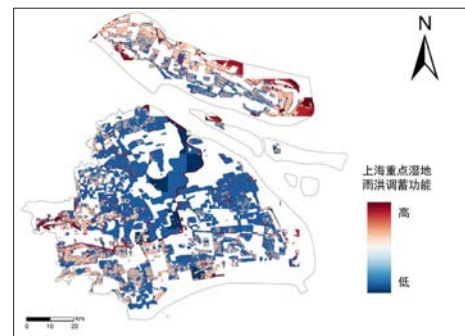


图4 上海重点湿地雨洪调蓄功能
Fig.4 Shanghai wetlands' flood stormwater storage function

资料来源:笔者自绘,上海市行政边界底图来源于国家地理信息公共服务平台。

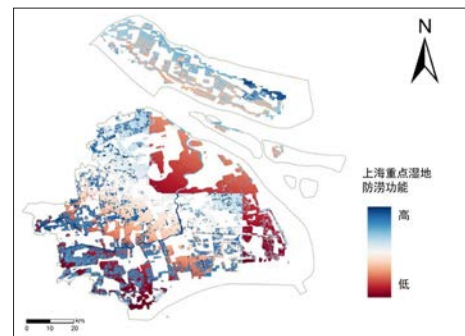


图5 上海重点湿地防涝功能
Fig.5 Shanghai wetlands' flood control function

资料来源:笔者自绘,上海市行政边界底图来源于国家地理信息公共服务平台。

华鲟等国家级保护区以及一批市级重要湿地，全市湿地保护率显著提升。同时，南汇东滩的退养还湿、青草沙水库建设及滴水湖人工湿地工程在改善水源涵养、防洪调蓄和鸟类栖息方面发挥了重要作用，体现出制度与工程结合的综合效应。然而，湿地保护仍面临一些突出问题。一是湿地斑块化明显，空间破碎化问题较突出。二是功能分布不够均衡，中心城区湿地退化明显，外围滨海湿地承载压力较大。三是生态补偿和市场化机制探索不足，依赖政府主导，资金来源较为单一。四是公众参与和生态文化建设相对薄弱，难以形成全社会共同保护的格局^[20]。

4.2 湿地功能分区布局

在此基础上，结合湿地分布特征和功能差异，构建了“北部河口保育—南部滨海屏障—西部水源涵养—中心城区修复”的空间分区格局（见图6）。北部河口区以崇明东滩和九段沙为核心，突出鸟类栖息地保护和全球生物多样性价值；南部滨海区以南汇东滩、奉贤与金山沿海湿地为主体，承担抵御海平面上升和风暴潮的功能；西部区域以淀山湖及周边湿地为核心，强调饮用水涵养与碳汇功能；中心城区则以黄浦江、苏州河及若干小微湿地为主，重点推进生态修复和教育休闲功能。这一分区体现了湿地在市域生态安全中的差异化作用，也为空间管控提供了清晰框架。

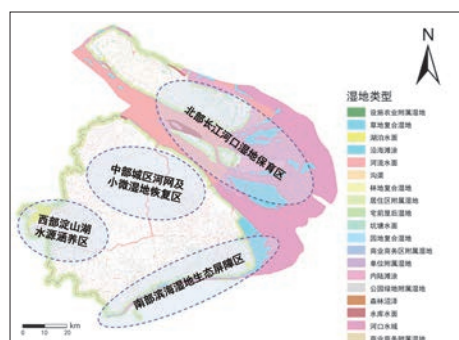


图6 上海湿地保护空间布局图

Fig.6 Shanghai wetland protection spatial layout map
资料来源：笔者自绘，底图来源于上海市第二次湿地资源调查数据。

4.3 管控优化路径

针对现存问题与分区格局，未来的管控路径需要进一步优化。首先，应更加注重研究基于自然的解决方案（NbS）。NbS是通过保护、恢复及可持续管理自然或改良生态系统来应对气候变化、生物多样性丧失等社会挑战的行动。钱塘江源头区域保护修复、云南抚仙湖流域治理等已成为中国实践NbS的典型范例。在政策层面，建议制定上海市湿地NbS实施细则，完善项目库机制，在重点生态功能区开展试点。具体来说，在滨海滩涂，适宜推广生态促淤与耐盐植被恢复；在城区低洼地带，宜优先营造半自然湿地生态环境、人工湿地和雨洪花园，与公园、绿地等既有公共设施进行系统性整合，形成连续的蓝绿基础设施网络，以提高应对海平面上升和极端降水的韧性^[21]。

进一步探索生态补偿与多元化融资架构，包括湿地碳汇交易、水质补偿和绿色金融，推动“政府引导—企业参与—社会支持”的长效机制，明确补偿资金使用与成效评估流程，为湿地保护提供稳定资金来源^[22]。在科技支撑方面，建议构建覆盖全市的遥感与地面监测网络，实时跟踪湿地面积、功能与服务价值的动态变化，为政策调整和管理提供科学依据^[23]。此外，还应通过湿地公园、自然教育中心和数字化展示平台等途径提升公众对湿地价值的认知，推动社会参与和文化认同的提升，使湿地保护逐步融入市民生活与城市品牌建设^[24]。

5 结论与展望

通过对上海市湿地资源禀赋、空间格局、生态功能与管控路径的系统研究可以发现，上海市湿地总面积达37.70万hm²，近海与海岸湿地占主体，构成了典型的河口滨海格局。整体上，湿地空间格局呈“环状+放射状”，外围滨海湿地形成连续屏障，河湖湿地沿水系呈放射状延伸，城区小微湿地点状分布，共同构建了市域湿地网络，也是长三角区域生态安全的重要核心节点。生态系统服务价

值评估表明，上海市湿地在水源涵养、防洪调蓄、碳汇固持、生物多样性维系等方面贡献显著，综合价值约480.67亿元/年，其中防灾减灾与水源安全功能占比最高，凸显湿地在保障城市生态安全与应对气候变化中的关键作用^[25]。本文提出“北部河口保育—南部滨海屏障—西部水源涵养—中心城区修复”的功能分区，并提出基于自然的解决方案（NbS）、生态补偿机制、长期监测、公众参与等优化路径，为提升城市韧性和服务国家“双碳”战略提供了科学支撑。

未来，气候变化与城市发展压力将使上海市湿地保护面临更复杂的挑战，但湿地作为重要自然资本，也为“双碳”战略和长三角一体化发展提供了关键机遇。通过制度保障和空间格局优化，上海市有望逐步建成具有全球影响力的“湿地之城”，并成为超大城市人与自然和谐共生的示范。

参考文献 References

- [1] 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(6630): 253-260.
 - [2] ZEDLER J B, KERCHER S. Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability[J]. Annual Review of Environment and Resources, 2005, 30(1): 39-74.
 - [3] DAVIDSON N C. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area[J]. Marine and Freshwater Research, 2014, 65(10): 934-941.
 - [4] HU S, NIU Z, CHEN Y, et al. Global wetlands: potential distribution, wetland loss, and status[J]. Science of the Total Environment, 2017, 586: 319-327.
 - [5] 孙伟伟, 刘围围, 王煜森, 等. 2010年—2022年全球湿地高光谱遥感研究进展与展望[J]. 遥感学报, 2023, 27(6): 1281-1299.
- SUN Weiwei, LIU Weiwei, WANG Yumiao, et al. Research progress and prospects of hyperspectral remote sensing for global wetland from 2010 to 2022[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2023,

- 27(6): 1281-1299.
- [6] BARBIER E B. Valuing ecosystem services as productive inputs[J]. *Economic Policy*, 2007, 22(49): 178-229.
- [7] HAN P, YANG G, WANG Z, et al. Driving factors and trade-offs/synergies analysis of the spatio-temporal changes of multiple ecosystem services in the Han River Basin, China[J]. *Remote Sensing*, 2024, 16(12): 2115.
- [8] ZHOU J, WU J, GONG Y. Valuing wetland ecosystem services based on benefit transfer: a meta-analysis of China wetland studies[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 276(11): 122988.
- [9] KUMAR S, SHARMA L K, FENNESSY M S. Global teal carbon: stocks, sequestration, and its potential role in climate change mitigation[J]. *Science of The Total Environment*, 2025, 995: 180128.
- [10] 朱明凤, 赵克飞, 邵铮, 等. 基于InVEST模型的粤港澳大湾区湿地碳储量时空变化分析[J]. *环境科学*, 2025, 46 (4): 1964-1973.
- ZHU Mingfeng, ZHAO Kefei, SHAO Zheng, et al. Spatio-temporal analysis of carbon sequestration of wetlands in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area based on the InVEST model[J]. *Environmental Science*, 2025, 46(4): 1964-1973.
- [11] ZHOU J, WANG Z, HE Y, et al. Evaluating the effects of wetland restoration on ecosystem services using InVEST and geostatistics: a case study of Dongting Lake in China[J]. *Remote Sensing*, 2024, 16(21): 4062.
- [12] 彭建, 赵会娟, 刘焱序, 等. 区域生态安全格局构建研究进展与展望[J]. *地理研究*, 2017, 36 (3): 407-419.
- PENG Jian, ZHAO Huijuan, LIU Yanxu, et al. Research progress and prospect on regional ecological security pattern construction[J]. *Geographical Research*, 2017, 36(3): 407-419.
- [13] 马才学, 杨蓉莹, 柯新利, 等. 基于生态压力视角的长三角地区生态安全格局构建与优化[J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31 (1): 135-147.
- MA Caixue, YANG Rongxuan, KE Xinli, et al. Construction and optimization of ecological security pattern in Yangtze River Delta based on the perspective of ecological pressure[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(1): 135-147.
- [14] 上海绿化市容年鉴编纂委员会. 上海绿化市容年鉴2024[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2024.
- Editorial Committee of Shanghai Landscaping and City Appearance Yearbook. *Shanghai Landscaping and City Appearance Yearbook 2024*[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2024.
- [15] 武海涛, 吕宪国. 中国湿地评价研究进展与展望[J]. *世界林业研究*, 2005 (4): 49-53.
- WU Haitao, LYU Xianguo. A review on the study of wetland assessment in China[J]. *World Forestry Research*, 2005(4): 49-53.
- [16] 蔡友铭, 周云轩. 上海湿地 (第二版) [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2014.
- CAI Youming, ZHOU Yunxuan. *Shanghai wetlands (second edition)*[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2014.
- [17] 裴孟杰, 陈中义, 史玉虎, 等. 基于当量因子法评估不同时期洪湖湿地生态系统服务价值[J]. *湖北大学学报 (自然科学版)*, 2022, 44 (2): 154-161.
- PEI Mengjie, CHEN Zhongyi, SHI Yuhu, et al. Estimation of ecosystem service value of Honghu wetland in different periods based on equivalent factor method[J]. *Journal of Hubei University (Natural Science)*, 2022, 44(2): 154-161.
- [18] 于卓璇, 刘钺. 基于PLUS和InVEST模型的湘江流域碳储存时空演变及多情景预测[J/OL]. *农业资源与环境学报*, 1-15[2026-01-19]. <https://doi.org/10.13254/j.jare.2025.0048>.
- YU Zhuoxuan, LIU Yue. Spatiotemporal evolution and multi-scenario projections of carbon storage in the Xiangjiang River basin using the PLUS and InVEST models[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 1-15[2026-01-19]. <https://doi.org/10.13254/j.jare.2025.0048>.
- [19] XU W, XIAO Y, ZHANG J, et al. Strengthening protected areas for biodiversity and ecosystem services in China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(7): 1601-1606.
- [20] 张豆, 渠丽萍, 张桀漓. 基于生态供需视角的生态安全格局构建与优化——以长三角地区为例[J]. *生态学报*, 2019, 39 (20): 7525-7537.
- ZHANG Dou, QU Liping, ZHANG Jiehao. Ecological security pattern construction method based on the perspective of ecological supply and demand: a case study of Yangtze River Delta[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(20): 7525-7537.
- [21] LIU S, COSTANZA R. Ecosystem services valuation in China[J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(7): 1387-1388.
- [22] 邹萍秀, 高子炜, 曹磊, 等. 基于生境适宜性的天津市湿地水鸟生态安全格局构建与优化[J]. *湿地科学*, 2024, 22 (6): 884-894.
- ZOU Pingxiu, GAO Ziwei, CAO Lei, et al. Construction and optimization of ecological security pattern for waterbirds in Tianjin wetland based on habitat suitability[J]. *Wetland Science*, 2024, 22(6): 884-894.
- [23] 荆俊平, 张鹏, 刘玥腾, 等. 基于深度学习和卫星遥感影像的滨海湿地变化研究[J]. *湿地科学与管理*, 2025, 21 (4): 2-7.
- JING Junping, ZHANG Peng, LIU Yueteng, et al. Research on changes in coastal wetlands based on deep learning and multi-temporal satellite remote sensing images[J]. *Wetland Science & Management*, 2025, 21(4): 2-7.
- [24] 陈磊士, 罗菁, 韩沁哲, 等. 基于密集时序多源遥感影像的季节性湖泊湿地动态监测研究[C]//第36届中国气象学会年会. 2025.
- CHEN Leishi, LUO Jing, HAN Qinzhe, et al. Research on dynamic monitoring of seasonal lake wetlands based on dense temporal multi-source remote sensing images[C]//36th Annual Meeting of the Chinese Meteorological Society. 2025.
- [25] 刘红玉, 林振山, 王文卿. 湿地资源研究进展与发展方向[J]. *自然资源学报*, 2009, 24 (12): 2204-2212.
- LIU Hongyu, LIN Zhenshan, WANG Wenqing. Research progress and development prospect of wetland resources[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(12): 2204-2212.