昆山湿地生态承载力评价*

金问问 朱 颖

苏州科技大学建筑与城市规划学院 江苏苏州 215011

摘要：【目的】揭示湿地载体韧性动态变化特征，阐明湿地载体与水网城市发展荷载之间的交互作用机制，为水网城市湿地可持续管理提供科学依据和指导。【方法】以适应性循环理论与生态承载力理论为指导，聚焦典型的水网城市昆山市，构建“潜力-连通度-韧性”的适应性湿地生态承载力评价框架，从时空维度评价昆山 2012—2021 年湿地生态承载力特征。【结果】1）时间维度上，昆山湿地生态承载力状态由盈余向亏损发展，2020 年湿地生态承载力指数最高，湿地状态最差；2）空间维度上，中北部各镇湿地承载力亏损情况较多，南部镇区湿地都出现生态承载力盈余现象。【结论】昆山湿地生态系统的弹性差异和对湿地的不同利用方式共同导致了时空分布无规律变化特性。未来，昆山市政府应继续科学控制社会发展速度，严格按照政策保护湿地、增加湿地载体容量，从而促进城市健康发展。

关键词：湿地；生态承载力；适应性循环理论；韧性；昆山

DOI：10.12169/zgcsly.2024.05.08.0001

Ecological Carrying Capacity Assessment of Kunshan Wetland

Jin Wenwen Zhu Ying

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

Abstract：【Objective】To uncover the dynamic characteristics of wetland resilience and clarify the interactions between wetland systems and the water network associated load, with the aim to provide a scientific basis and guidance for the sustainable management of wetlands in cities of water networks. 【Method】Guided by the adaptive cycle theory and ecological carrying capacity theory, the study focuses on a typical city of water network, Kunshan, to construct an assessment framework of “potential-connectedness-resilience” for adaptive wetland ecological carrying capacity, and evaluates Kunshan’s wetland ecological carrying capacity from 2012 to 2021. 【Result】1) Kunshan wetlands’ ecological carrying capacity develops from surplus to deficit along the time dimension. In 2020, the wetland ecological carrying capacity index reached a peak and the wetland was in the worst state; and 2) Spatially, the towns in the central and northern Kunshan stay deficit more frequently in terms of wetland ecological carrying capacity, while the towns in the southern region are in consistent surplus state in ecological carrying capacity. 【Conclusion】The heterogeneous resilience of Kunshan’s wetland ecosystems, coupled with diverse utilization patterns, has collectively contributed to the spatiotemporal irregularity in their distribution. Moving forward, Kunshan should continue to scientifically regulate the pace of social development, rigorously enforce wetland conservation policies, and enhance the carrying capacity of wetland ecosystems, thereby fostering sustainable and healthy urban development.

收稿日期：2024-05-08

* 基金项目：江苏省研究生科研与实践创新计划项目（KYCX22_ 3308）；教育部人文社科基金（23YJAZH231）；苏州科技大学风景园林学学科建设项目

第一作者：金问问（1999- ），女，硕士生，研究方向为地域生态环境与景观规划。Email：1355870959@ qq. com

通信作者：朱颖（1973- ），女，博士，教授，研究方向为地域生态环境与景观规划。Email：zhuyin@ mail. usts. edu. cn

Keywords：wetland；ecological carrying capacity；adaptive cycle theory；resilience；Kunshan

湿地作为水网城市最重要的本底资源，保障了水网城市的经济发展和生态安全[1]。湿地生态系统状态取决于湿地生态系统对城市建设的承载能力[2]，这种承载力不仅体现湿地生态系统状况，也折射了水网城市对生态系统资源的利用情况。近年来，水网城市城镇化加剧了对湿地资源的索取，严重威胁湿地支撑水网城市经济和生态持续发展的能力。因此，评价湿地生态承载力成为开展水网城市可持续发展的迫切需求。

在生态承载力研究中，载体逐渐从单一个体扩展到区域多尺度系统，荷载也由生物体发展到结合人类活动和气候变化因子的综合体[3-4]。湿地生态承载力具有复杂动态发展载体、多荷载影响的特点[5-7]。湿地生态承载力评价的研究集中于分析湿地资源对旅游、城市建设等荷载的支撑能力[8-10]。这些研究对湿地生态承载力评价奠定了坚实的基础，但在体现湿地生态承载力形成过程方面探讨不足，需要在相互关联的视角下表征载体和荷载的时空异质性，了解湿地载体的韧性状况。

适应性循环理论模型作为一种动态方法，直观体现湿地生态系统动态发展以及如何应对外部干扰的响应[11-13]，适用于解释复杂系统动态演变逻辑和分析发展过程中的干扰两个方面。一方面，学者们依据模型清晰阐述了城市、县域旅游地、海洋渔业产业、乡村聚居景观等系统在“潜力-生态资源”，“连通度-生态结构”以及“韧性-动态过程”层面上的演化过程，直接映射出系统在动态发展中的韧性特性[14-17]；另一方面，“潜力-连通度-韧性”视角探析不同尺度系统的生态风险[18-19]，能够体现系统对风险的响应。该理论多运用于城市、农业和沿海系统，而对于湿地等对外部干扰具有极强敏感性的系统的探索仍有待继续深入，应该加强适应性循环理论和湿地生态系统韧性发展过程的研究。

昆山作为典型的水网城市，也是长三角地区经济最活跃的城市之一。昆山湿地生态系统是社会经济快速发展的重要支撑，但湿地生态功能并非协同发展[20-21]。鉴于此，本研究以适应性循环理论为指导，构建“潜力-连通度-韧性”湿地生态承载力评价框架，探究昆山湿地生态承载力的时空演变趋势，为促进昆山湿地生态功能策略提供依据。

1　研究区概况

昆山（120°48′21″—121°09′04″E，31°06′34″—31°32′36″N）地处长三角经济带水网地区，东临上海，北与常熟、太仓两市相连，南与上海接壤，西与吴江、苏州交界，总面积约 93 100 hm^2（图 1）。作为全国最具综合竞争力的县市，昆山市下辖 10 个独具规模和经济发展特色的镇区（表 1），呈现出多元化的经济格局和区域特点。

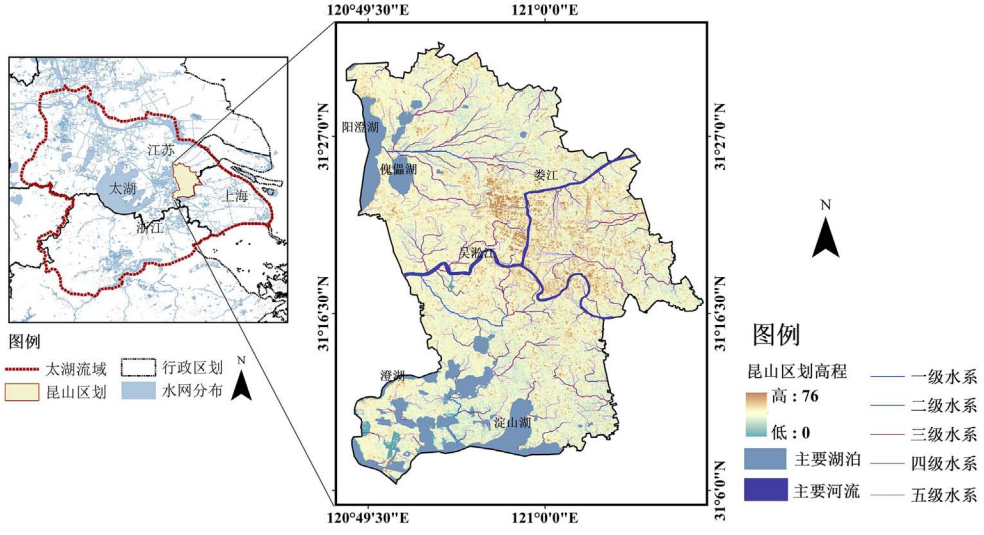


图 1　昆山区位、高程及水文分布

表 1 昆山各镇规模

昆山各镇名称	面积/hm²	2021 年人口数/万人	产业类型	地区生产总值/亿元
巴城镇	155.40	8.28	工业、制造业	231.74
周市镇	79.50	10.78	机械制造业	351.64
玉山镇	191.11	31.65	工业	968.48
陆家镇	35.60	4.95	电子信息、机械制造业	182.72
花桥镇	85.43	9.94	高新技术产业、旅游业	395.72
张浦镇	109.00	9.77	工业、服务业、旅游业	292.05
千灯镇	78.50	7.70	工业、服务业	256.10
淀山湖镇	66.00	2.97	旅游业	121.01
锦溪镇	90.69	4.62	旅游业、手工制造业	136.64
周庄镇	38.96	2.36	旅游业、服务业	47.41

注：表中数据参考 2022 年昆山市国民经济和社会发展统计公报以及昆山市人民政府官网。

昆山市地形平缓，受亚热带季风气候的影响，年平均气温在 17.6 ℃左右，年平均降水量 1 200.4 mm[22]。昆山内河道密布，湖泊众多，湿地类型丰富。截至 2022 年，全市境内有大小河道 2 815 条，总长度约 2 820 km（图 1），列入省级保护名录，常年水面面积 0.5 km² 以上的湖泊共 19 个。

2 研究方法

2.1 数据来源及预处理

本研究数据包括社会经济统计数据、土地利用数据和气象数据 3 大类，结合 ArcGIS、ENVI、Frags tats 等软件，通过统计、计算叠加过程后进行分析。

社会经济统计数据包括人口数量、人口密度以及经济发展指标如 GDP、城市行政面积、城市建设用地面积、道路长度以及湿地生态系统服务价值等。数据来源于国民经济和社会发展统计公报、城市统计年鉴、编年史书籍、OSM 网站（https://www.openstreetmap.org/）、《中国旅游统计图鉴》《中国水利年鉴》苏州科技大学水环境实际调查，水环境质量年报，线下实际调研和专家经验交流。

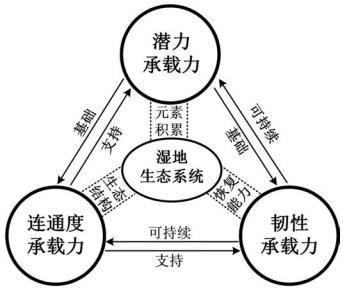
土地利用 Landsat TM 影像数据来源于美国地质勘查局（USGS）（https://earthexplorer. usgs. gov/）。通过影像下载与镶嵌，结合历年政府湿地保护规划以及武汉大学发布的 1990—2021 年中国 30 m 地覆盖数据集[23]，采用 ENVI 监督分类对水网城市土地利用类型进行识别与分类。

气象数据包括年均温度、年降雨量。数据均在研究区国民经济和社会发展统计公报、资源与环境科学中心（https://www.resdc.cn/）下载并重采样研究区气象数据。

2.2 评价框架

适应性循环特征与生态承载力属性有着密切的相互作用，主要体现在“潜力-连通度-韧性”3 个层面。潜力（Potential）反映了湿地生态元素资源累积状况；连通度（Connectedness）描述了湿地的空间关系，可以理解为以生态结构为表征的湿地景观单元之间的连通程度；韧性（Resilience）展现了湿地应对社会荷载时维持自身结构和功能的能力。湿地生态承载力由自身动态发展和外部干扰影响共同形成。当湿地载体动态发展过程中受到城市发展等荷载干扰时，会以湿地生态元素、生态结构和韧性的变化为承载响应，分别对应于潜在、连通性和韧性的相互关联特征。

由图 2 可知，潜力、连通度及韧性承载力相互关联。湿地潜力和连通度承载力协同支撑湿地韧性承载力发展，而韧性通过人类科技、保护措施也可以提升潜力和连通度承载力[24-25]。当湿地拥有足够资源、结构连通度紧密的理想情况下，湿地的韧性状况良好，湿地生态系统承载力可以有所盈余地承载城市发展过程中的负荷；当载体无法支撑荷载时，湿地生态系统失衡。



注：改绘自杨庆媛等[26]适应性循环模型。

图 2 “潜力-连通度-韧性”承载力关系图

2.3　评价指标筛选

2.3.1　潜力承载力指标

潜力承载力表示由湿地生态系统元素累积的资源载体对城市发展过程中需要的资源的支撑能力。湿地生态系统的潜力承载力载体是由其水、土壤等关键环境元素通过长期累积而形成的资源综合体，资源提供渔业产品、防洪蓄水、土壤保持、水源涵养、水质净化、生物多样性和休闲娱乐等生态系统服务[27-29]。荷载主要由人类生产生活使用的湿地生态系统服务表征，比如每万元 GDP 用水量、人均水资源量、旅游休闲、食物需求、碳固持[28-30]。以上指标依据生态系统服务公式计算[27,29,31]。

2.3.2　连通度承载力指标

连通度承载力表示湿地生态系统结构对城市发展中的干扰的支撑能力。景观格局体现连通度承载力中的载体效应，包括景观形状指数（LSI）、景观蔓延度（CONTAG）、Shannon 多样性指数（SHDI）以及最大斑块指数（LPI）[32]，分别表征湿地破碎度、聚集度、多样性和优势度，将昆山土地利用 TIFF 文件输入 Frag state 软件计算。建设用地地均增加值、城市建设用地消耗强度[33]、道路长度和道路网密度[34]指标表示荷载，体现城市扩张活动对湿地的干扰。

2.3.3　韧性承载力指标

韧性生态承载力表示湿地生态系统所受负荷的持续性以及从负荷干扰中恢复的水平[35]，这也是湿地弹性的体现。韧性承载力中的载体体现为湿地总面积和湿地率[36-37]，湿地面积变化可视为湿地生态系统在生态环境中的演替过程，依据 ArcGIS 中湿地类型栅格数据计算面积。荷载效应体现为城市发展和气候变化的变化趋势，选取 GDP 总量、人口密度、城镇化等社会经济发展指标以及年均气温和年降雨量体现气候变化的指标[37]，数值越大表示城镇化水平越高。

邀请湿地研究领域的专家和研究生参与评价指标李克特五级量表调查，进一步确保评价指标的准确性。基于潜力-连通度-韧性 3 个层面，筛选建立包含 27 个指标的适应性湿地生态承载力评价指标体系（表 2）。

表 2　适应性湿地生态承载力评价指标体系

目标层 A	指标层 B	承载层 C	因子层 D	指标说明	正负性
湿地生态承载力A_1	潜力承载力B_1	荷载C_1	每万元 GDP 用水总量 D_1	年用水量与总 GDP 比值	-
			人均水资源量 D_2	年用水量与总人口比值	-
			旅游休闲 D_3	居民旅游消费支出	-
			食物需求 D_4	居民水产品消费支出	-
			碳固持 D_5	居民碳排放需求	-
		载体C_2	渔业产品 D_6	湿地养殖水产品数量	+
			防洪蓄水 D_7	湿地洪水调节创造价值	+
			土壤保持 D_8	湿地保持土壤创造的价值	+
			水源涵养 D_9	湿地涵养水源创造的价值	+
			水质净化 D_{10}	湿地净化水质创造的价值	+
			生物多样性D_{11}	湿地物种丰富度	+
			休闲娱乐 D_{12}	湿地因提供娱乐的创收	+
	连通度承载力B_2	荷载C_1	建设用地地均增加值 D_{13}	单位面积下建设用地增加值	-
			城市建设用地消耗强度 D_{14}	单位面积下城市建设用地消耗强度	-
			道路网密度 D_{15}	总里数与行政面积比值	-
			道路长度 D_{16}	总里数	-
		载体C_2	景观形状指数（LSI）D_{17}	湿地破碎度	+
			景观蔓延度（CONTAG）D_{18}	斑块聚集程度	+
			Shannon 多样性指数（SHDI）D_{19}	斑块多样性程度	+
			最大斑块指数（LPI）D_{20}	斑块优势度	+
	韧性承载力B_3	荷载C_1	年均气温 D_{21}	气候状况	-
			年降雨量 D_{22}	降雨状况	-
			GDP 总量 D_{23}	社会经济发展状况	-
			人口密度 D_{24}	人口发展状况	-
			城镇化 D_{25}	社会经济发展状况	-
		载体C_2	湿地总面积 D_{26}	湿地系统自适应变化	+
			湿地率 D_{27}	在人类干预下湿地系统自适应变化	+

2.4 指数建立

1）指标数据归一化。采用综合指数法对生态承载力进行评价，建立生态承载力指数，归一化指标数值[38]。

2）熵值法确定权重。根据上文归一化处理，利用熵值法确定湿地生态承载力权重[38]，进而建立湿地生态承载力指数。

3）湿地生态承载力指数计算。叠加赋值后的各层面指标，依据“荷载/载体”，构建适应性湿地生态承载力指数（Adaptive wetlands ecological carrying capacity index，AWECCI），包括潜力承载力指数（Potential ecological carrying capacity，$ECCI_P$）、连通度承载力指数（Connectedness ecological carrying capacity，$ECCI_c$）、韧性承载力指数（Resilience ecological carrying capacity，$ECCI_r$）。

$$ECCI_i = \sum_{i=1}^{n} w_j \times X_i \tag{1}$$

$$ECCI_l = W_{pl} \times ECCI_{pl} + W_{cl} \times ECCI_{cl} + W_{rl} \times ECCI_{rl} \tag{2}$$

$$ECCI_c = W_{pc} \times ECCI_{pc} + W_{cc} \times ECCI_{cc} + W_{rc} \times ECCI_{rc} \tag{3}$$

$$AWECCI = ECCI_l / ECCI_c \tag{4}$$

式（1）~（4）中：X_i为归一化指标；w_j为权重；$ECCI_i$表示各层面的承载值；$ECCI_l$为各层面荷载总和；$ECCI_c$为各层面载体总和。

2.5 指数等级划分

$0<AWECCI<1$ 表示湿地生态承载力盈余，湿地生态系统健康，可持续发展较高；$AWEECI>1$ 表示湿地生态承载力亏损，面临外部的压力越多[39]。本研究认为 *AWECCI* 亏损并不能表示 *AWECC* 超阈值，而是表明 *AWECCI* 超载的可能性（风险）较高。

3 结果与分析

3.1 昆山湿地生态承载力时间维度评价

由图 3 可知，2012—2021 年，昆山湿地各层面生态承载力指数变化程度和趋势各不相同。

潜力承载力层面，2012—2021 年昆山潜力承载力数值变化幅度不明显，说明湿地发挥生态功能与城市发展需求达到平衡。

连通度承载力层面，2012—2021 年数值表现升高迹象。2012—2018 年，湿地生态结构遭受的压力随着城镇化进程的加快而上升；2018—2020 年，指数增长速度显著加快，湿地景观结构响应城市空间扩张的弹性明显增强；2020—2021 年，指数下降，城市空间对湿地的干扰情况有所好转。

韧性承载力层面，2012—2018 年指数上升，社会经济发展带来的压力增多，2018—2021 年指数呈现下降趋势，湿地韧性能力提高。

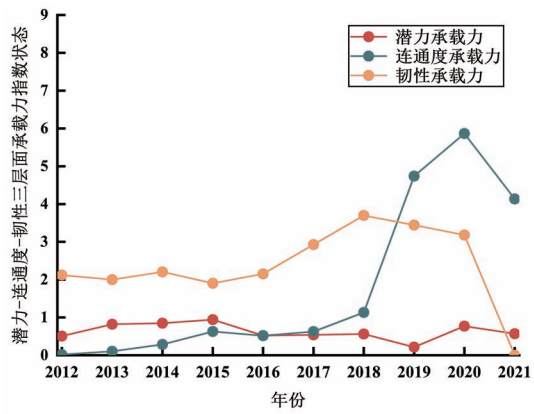


图 3 2012—2021 年昆山湿地各层面生态承载力指数变化

2012—2021 年，昆山湿地生态承载力指数呈现出不规则变化趋势（图 4），湿地生态承载力指数在 0.772~2.843 范围内波动（表 3）。2016 年指数最低为 0.772，表示 2016 年昆山利用了 0.772 倍湿地资源来承载城市发展，湿地资源尚有盈余；2020 年最高为 2.843，湿地亏损，存在 1.843 倍的承载缺口。

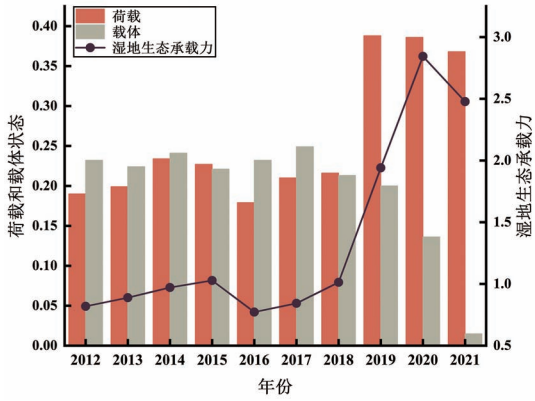


图 4 2012—2021 年昆山湿地生态承载力指数年际变化

表 3　2012—2021 年昆山湿地生态承载力指数年际变化

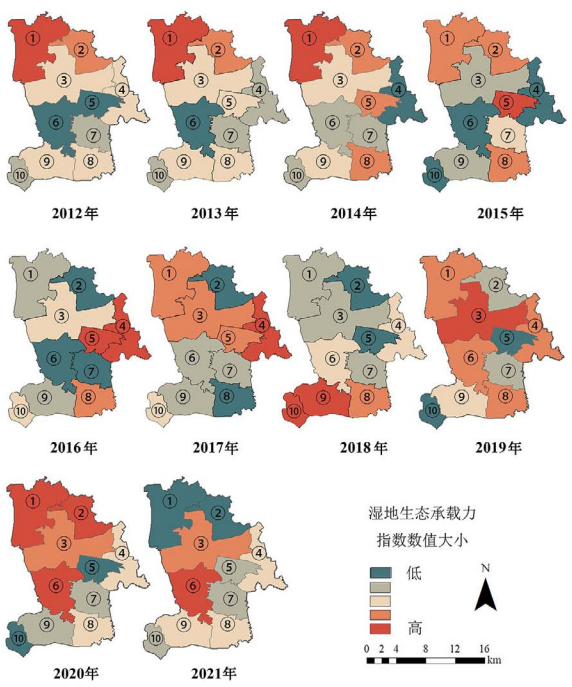
项目	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
AWECCI	0. 819	0. 889	0. 971	1. 028	0. 772	0. 843	1. 013	1. 941	2. 843	2. 477

由表 3 可知，指数波动分为 3 个阶段：2012—2018 年，波动较为稳定，说明这一时段湿地有稳定的弹性，积极的人类活动和湿地生态系统适应性发展有效地保障了湿地生态系统平衡状态；2018—2020 年，指数开始急剧上升，变化幅度明显增大，这一阶段湿地弹性增加，可以吸收更多的昆山社会经济活动；2020—2021 年，指数转而下降且幅度减少，湿地弹性下降，湿地积累的资源禀赋仍然可以支持承载社会经济活动。

3.2　昆山湿地生态承载力空间维度评价

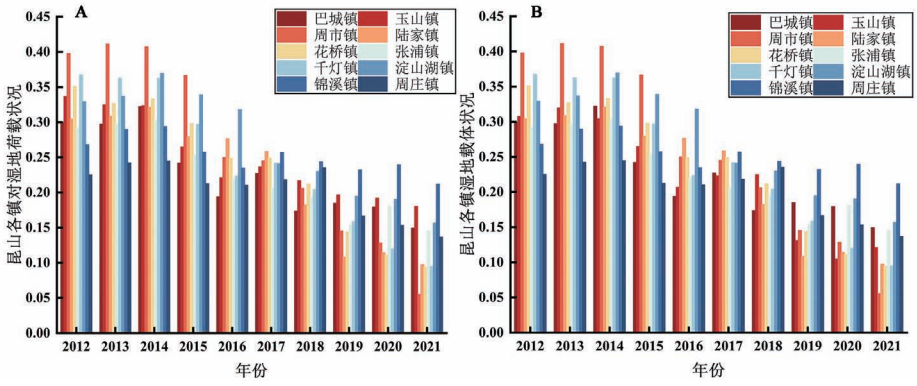
昆山湿地生态承载力的空间分布具有异质性特征（图 5）。2012—2021 年，昆山湿地生态承载力呈现“中北部高，南部低”的格局频率较高。北部的巴城镇、周市镇、玉山镇，中部的陆家镇，南部的淀山湖镇的湿地较多呈现生态承载力亏损情形。

由于昆山不同镇区的经济发展荷载和湿地资源载体之间明显差异造成了时空分布差异（图 6）。各镇经济发展造成了对湿地的利用程度和形式不同，各镇湿地资源存在差别，说明湿地弹性各异。



注：①巴城镇；②周市镇；③玉山镇；④花桥镇；⑤陆家镇；⑥张浦镇；⑦千灯镇；⑧淀山湖镇；⑨锦溪镇；⑩周庄镇。

图 5　2012—2021 年昆山湿地生态承载力空间分布



注：A 昆山各镇对湿地荷载状况；B 昆山各镇湿地载体状况。

图 6　2012—2021 年昆山各镇湿地生态承载力荷载-载体变化状况

就荷载而言（图 6A），2012—2015 年，周市镇数值明显高于其他镇区；2015—2021 年，淀山湖镇和锦溪镇荷载强度较大，社会经济类活动相对频繁，依赖和攫取湿地资源的城市发展活动居多。

就载体而言（图 6B），2012—2016 年，周市镇、千灯镇和淀山湖镇湿地载体容量处于较高水平；2017 年，各镇湿地资源相对均衡；2018—2021 年，南部锦溪镇、淀山湖镇和周庄镇湿地发挥更丰富的生态功能。

4　讨论

4.1　适应性湿地生态承载力评价模型的有效性

从“荷载-载体”视角出发进行湿地生态承

载力评价，不仅准确地识别出湿地载体和社会经济发展造成的荷载，也能体现载体应对荷载的响应状况。本研究发现，由于湿地弹性存在差异以及昆山对湿地资源利用程度不同，湿地生态承载力表现出不规律的变化趋势。与利用生态足迹模型评价承载力的方法相比[40]，该模型的结论不仅体现人类活动荷载影响，还凸显了载体应对荷载的响应。

另外，本研究在准则层中融入了“荷载”属性，测量结果直观体现荷载影响以及载体响应荷载的能力。结果表明，承载力指数越高，水网城市荷载强度越大，湿地生态系统更易失衡，这与以往相关学者的研究结果不同。Wang[41]、曾建军[42]构建的生态承载力评价模型表示指数越高，生态系统越稳定。研究结论相异的原因在于，相关学者从载体出发，依据载体多层次特性建立准则层，叠加的指数值高低反映生态系统状态好坏；本研究考虑外部“荷载”特征，具有体现承载力中“荷载”的优势，也为今后研究提供动态方向。

4.2 适应性湿地生态承载力评价对昆山可持续发展的影响

适应性湿地生态承载力评价模型适用于昆山。昆山湿地的实证分析发现，2012—2021年，湿地多次呈现生态承载力亏损状况，表明城市发展对湿地资源产生压力，未来湿地产生风险的可能性较大，昆山的可持续发展能力较弱。事实上，昆山一直探索绿色高效的城市发展模式[43]，以减少城市荷载。此外，承载力阈值可预警昆山发展。根据10年间的承载力阈值范围，昆山市政府应继续科学控制社会发展速度；同时，严格按照政策保护湿地，增加湿地载体容量，从而促进城市健康发展。未来需要加强对昆山各镇湿地的专项调查，关注镇村级社会经济信息的搜集与共享，以进一步保证评价结果的科学准确。

5 结论

本研究将适应性循环理论中的“潜力-连通度-韧性”层面和生态承载力理论下的“荷载-载体”属性相结合，构建了水网城市湿地生态承载力评价框架。框架包括潜力承载力、连通度承载力以及韧性承载力在内的3个指标层的27个因子。模型适用于2012—2021年昆山湿地生态承载力评价研究，时间维度上，昆山湿地在2018年之后持续处于亏缺状态，湿地弹性存在明显差异，昆山存在湿地生态承载能力超载风险；昆山各镇对湿地资源的利用程度差异造成了昆山湿地生态承载力指数“中北部高，南部低”的空间分布。未来，昆山市政府应继续科学控制社会发展速度；严格按照政策保护湿地，增加湿地载体容量，从而促进城市健康发展。

参考文献

[1]杨烜涵,付晖,秦煜姬,等.近20年来海口湿地景观格局演变及其驱动因子[J].中国城市林业,2023,21(3):28-35.

[2]LUO W Z, SHEN L Y, ZHANG L Y, et al. A load-carrier perspective method for evaluating land resources carrying capacity [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(9): 5503.

[3]封志明,李鹏.承载力概念的源起与发展:基于资源环境视角的讨论[J].自然资源学报,2018,33(9):1475-1489.

[4]SUN T, FENG Z M, YANG Y Z, et al. Research on land resource carrying capacity: progress and prospects[J]. Journal of Resources and Ecology, 2018, 9(4): 331-340.

[5]王文慧,钟业喜,马宏智,等.鄱阳湖水陆交错带生态韧性时空变化及影响因素[J].生态学报,2023,43(22):9514-9526.

[6]张姗姗,陈婷,张磊,等.江苏滩涂海岸带生态承载力空间异质性研究[J].环境科学与技术,2023,46(10):189-197.

[7]孔子强.扎龙湿地土地利用程度分析及生态承载力研究[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2022.

[8]褚英敏.白洋淀景区旅游足迹测算与环境承载力研究[D].徐州:中国矿业大学,2020.

[9]叶小康.升金湖湿地人地关系及生态承载力演变机制研究[D].合肥:安徽农业大学,2018.

[10]熊建新,吴南飞,陈端吕,等.洞庭湖区生态承载力响应的时空分异[J].中南林业科技大学学报,2018,38(12):13-21,29.

[11]GUNDERSON L H, HOLLING C S. Panarchy: understanding transformations in human and natural systems[M]. Washington: Island Press, 2002.

[12]FOLKE C, CARPENTER S, ELMQVIST T, et al. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations[J]. Ambio, 2002, 31(5): 437-440.

[13]WALKER B, HOLLING C S, CARPENTER S R, et al. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems[J]. Ecology and Society, 2004, 9(2): art5.

[14]高丽.旅游地社会-生态系统弹性评价研究:以桓仁满族自治

县为例[D].大连:大连理工大学,2021.
[15]金校名,李博.中国沿海地区海洋渔业产业生态系统适应性循环过程及驱动机制[J].生态学报,2021,41(14):5857-5867.
[16]李可昕,胡宏,赵慧敏.基于适应性循环理论与压力-状态-响应框架的区域社会-生态系统演进研究[J].生态学报,2022,42(24):10164-10179.
[17]孙应魁,翟斌庆.社会生态韧性视角下的乡村聚居景观演化及影响机制:以新疆村落的适应性循环为例[J].中国园林,2020,36(12):83-88.
[18]翟培秀,李飞雪,邱小倩,等.长三角地区景观生态风险时空演变评估[J].水土保持研究,2023,30(4):245-255.
[19]张玉娇,曾杰,陈万旭,等.基于适应性循环的丹江口库区生态风险评价[J].水土保持研究,2022,29(1):349-360.
[20]杨明楠.城市化背景下太湖流域典型河网区水文过程与水环境变化研究[D].南京:南京大学,2015.
[21]邓晓军.太湖平原水系格局与连通变化及其对河网调蓄与自净功能的影响研究[D].南京:南京大学,2015.
[22]昆山市政府.昆山市气象气候[EB/OL].(2023-03-14)[2025-05-08].https://www.ks.gov.cn/kss/qih/common_tt.shtml.
[23]YANG J,HUANG X.The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J].Earth System Science Data,2021,13(8):3907-3925.
[24]戴伟.基于韧性理念的珠江三角洲规划设计研究[D].广州:华南理工大学,2021.
[25]韩雪琦.基于水生态安全格局的淮北市水生态韧性提升策略研究[D].徐州:中国矿业大学,2023.
[26]杨庆媛,张浩哲,唐强.基于适应性循环模型的重庆市国土空间生态修复分区[J].地理学报,2022,77(10):2583-2598.
[27]左凌霄.城市湿地生态系统服务价值评估:以南昌市艾溪湖湿地公园为例[D].南昌:江西财经大学,2021.
[28]肖涛.环杭州湾城市群湿地生态系统服务价值评估研究[D].重庆:西南大学,2020.
[29]何江润.珠江三角洲湿地生态系统服务价值评估研究[D].广州:广州大学,2022.
[30]丛建辉,刘学敏,赵雪如.城市碳排放核算的边界界定及其测度方法[J].中国人口·资源与环境,2014,24(4):19-26.
[31]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.
[32]刘世梁,武雪,朱家蓠,等.耦合景观格局与生态系统服务的区域生态承载力评价[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(5):694-704.
[33]梁云奇.城市建设用地消耗强度与经济社会发展关系研究:以长江经济带为例[D].抚州:东华理工大学,2020.
[34]翁美娥.福州城市综合承载力评价[D].福州:福建师范大学,2013.
[35]涂颖芝.基于韧性景观理论的湿地公园设计研究:以抚州市凤岚河湿地公园为例[D].南昌:南昌大学,2022.
[36]李嘉艺.适应性循环视角下的北京市生态风险评估与空间优化策略研究[D].北京:北京林业大学,2021.
[37]安徽省林业标准化技术委员.湿地生态承载力评价技术规范:DB 34/T 3544—2019[S].合肥:安徽省市场监督管理局,2019.
[38]单姝瑶.祁连山国家公园生态承载力的评估与预测[D].兰州:兰州大学,2023.
[39]罗文竹.基于荷载-载体视角的土地承载力研究[D].重庆:重庆大学,2021.
[40]夏军,刁艺璇,佘敦先,等.鄱阳湖流域水资源生态安全状况及承载力分析[J].水资源保护,2022,38(3):1-8,24.
[41]WANG M W.Calculation of sensitive factors in ecologically sensitive areas of plateau:comprehensive evaluation of ecological carrying capacity[J].Applied Nanoscience,2023,13(2):1465-1476.
[42]曾建军.景观格局变化背景下疏勒河流域生态承载力和生态需水研究[D].兰州:兰州大学,2018.
[43]徐瀚洋.昆山市容环境管理的困境与对策分析[D].苏州:苏州大学,2020.