

高原地区城-湖景观共生界面评估及其规划启示——以昆明-滇池为例

周艳梅 杜春兰*

摘 要: 高原地区城市与湖泊关系紧密, 物质能量的交换、土地利用的变化集中发生在城-湖景观的共生界面, 其空间治理对城市生态环境和人居品质的提升具有重要意义。以昆明-滇池为研究案例, 采用空间数据构建城-湖发展的评估指标, 通过耦合协调度模型分析1990—2020年城-湖景观协同共生的发展过程。结果表明: 1) 城市发展利益与湖泊生态保护之间的空间博弈推动了景观共生界面格局的变化; 2) 城-湖景观的协同关系经历了从失调向协调发展的转变, 但尚处于初级协调阶段, 协调水平有待提升; 3) 城-湖景观协同发展受到经济政策、人口政策、自然环境、城市建设等诸多因素的影响。提出以共生界面的科学规划与管理、生态系统服务质量的提升及流域范围的共生界面治理为核心策略, 以期促进高原湖泊生态宜居城市的发展建设。

关 键 词: 风景园林; 城-湖景观; 共生界面; 高原地区; 协同发展

文章编号: 1000-6664(2026)03-0076-08

DOI: 10.19775/j.cla.2026.03.0076

中图分类号: TU 986

文献标志码: A

收稿日期: 2024-06-16

修回日期: 2024-12-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(52238003)

城市湖泊是资源要素与环境要素的综合体, 协调互促的城-湖关系有利于彰显城市空间品质、提升城市形象与活力, 促进功能混合及区域共享共建^[1-3]。然而, 城市发展长期与湖泊争水、争地, 社会经济建设不断侵占湖泊生态空间, 城市湖泊普遍面临生态功能受损、水源涵养能力不足、水环境恶化、生物多样性萎缩、蓄洪能力下降等问题^[4-5], 城-湖矛盾关系的激化严重阻碍了区域高质量可持续发展。“十四五”时期, 为促进湖泊生态保护治理与流域社会经济统筹发展, 加速构建“人水和谐”的美丽中国, 国土空间开发保护布局优化成为城-湖协同发展的主要着力点。

“共生”是源自生物学领域的概念, 也是国土空间统筹与区域协调发展研究的重要视角^[6-7]。根据共生理论, 共生单元、共生环境(包括共生界面)和共生模式共同组成共生系统。其中, 共生单元是系统最基本的构成单位, 不同共生单元之间通过共生界面进行相互影响, 并在资源、经济、社会、政策等共生环境要素的驱动作用下演

化出不同的共生关系, 形成寄生、偏利共生、非对称互惠共生和对称互惠共生的模式。反映各共生单元在维持自身稳定的前提下, 至少一方获得了发展的优势条件。共生界面作为共生单元之间物质、信息和能量传导的媒介、通道和载体, 对共生关系的形成与发展具有重要的推动作用^[7-8], 良好的共生界面能够促进共生系统的长远发展, 有利于实现互惠共生的最优模式。

“共生”在不同空间尺度上的景观表征不同, 如宏观尺度上的景观格局特征、中观尺度的景观要素组合, 以及微观尺度上的景观材质和文化内涵特质等。本文主要对宏观尺度的景观格局展开讨论。从景观格局与过程的角度看, 构成城-湖共生关系的先决条件在于: 一是“共”, 即城市建设用地与湖泊在空间上的紧密邻接; 二是“生”, 即城市与湖泊系统中至少一方表现出良性发展的状态。

鉴于城市湖泊景观资源、生态价值和社会效益的不可替代性, 相关学者围绕湖岸景观的开发与保护策略^[9]、生态营建途径^[10]、城-湖系统

共生的模式与水平^[11]等问题展开深入探讨。目前研究主要围绕城市经济发展、民生改善、人居环境、科技创新等内容, 以及湖泊的水质、水生态环境、水资源安全、水保护治理等内容分别构建2个系统的评价体系, 最终计算出城-湖系统之间的耦合协调度, 来量化二者协同发展的水平^[11]。通过利用非空间数据, 为优化城-湖一体的景观格局提供了一定的参考。

然而, 城市和湖泊的协同发展不仅表现为二者在系统层面是否和谐共生, 城市、湖泊2种异质空间之间的邻接与渗透也是城-湖协同关系的重要表征。在城-湖景观共生系统中, 城市与湖泊的空间交集构成城-湖景观共生界面, 在这一界面中, 时刻上演着更加直接的物质交换与土地利用的博弈对抗。在不同时期的规划引导与设计思潮下, 城市发展与环境保护之间的权衡措施表现为水岸形式的硬化与软化、建设用地的侵占与退让等, 这些变化持续在城-湖景观共生界面中轮流登场, 使得共生界面的景观格局在景观破碎化程度、景观多样性特征等方面发生改变, 为考

* 通信作者(Author for correspondence) E-mail: cldu@cqu.edu.cn

察城-湖协同关系演变提供了直观素材。

以往研究多采用社会经济及水环境数据评估城市与湖泊在系统层面的协同关系，其类型及信息虽然较为全面，但在不同统计数据之间存在统计单元不匹配、数据结构不统一、无法按任意空间范围进行数据汇总等问题^[12]，因此未能在空间维度上通过景观共生界面的变化讨论城-湖协同关系的发展。另外，相较于平原城市，高原湖泊与城市的景观共生界面情况更为复杂。地理环境的特殊性使区域内的湖泊具有一定的封闭性，湖水净化周期长、流动性差，对共生界面生态环境变化较为敏感，加上高原湖泊城市发展空间受限，湖泊流域人口集中、城市经济发展聚集、人类活动强度较大，城-湖景观共生界面在促进城市高质量发展与湖泊环境保护协同的问题上面临巨大压力^[13]，需要进行更加精确的空间评估，制定更加优化的管理办法。

本文以昆明-滇池为研究案例，通过考察城-湖景观共生界面的动态变化，分析城市与高原湖泊协同关系的演进。在方法层面，根据滇池水域与城市建成区之间的空间关系提取城-湖景观共生界面，依托空间数据建构城市发展指数与湖泊质量指数，并借助耦合协调度模型对城-湖协同发展程度进行定量分析，考察不同时期城-湖协同关系的变化，为合理制定共生界面的空间规划策略提供科学依据，探索生态宜居的城-湖共生模式。

1 研究区域概况

昆明市毗邻滇池而建，在省、市2级国土空间规划中被定位为面向南亚、东南亚的区域性国际中心城市，常住人口超过800万。滇池是云贵高原地区面积最大的省会城市湖泊，在筑牢长江上游生态安全格局、保障全国和区域生态安全方面具有重要地位。作为受城市发展影响尤为显著的高原湖泊之一，滇池的污染备受社会关注，其水环境治理工作已经持续30余年，但水生态受损问题依然突出^[14]。

昆明主城的地理奠基始于唐代南诏国时期，至明清时期，昆明城距滇池湖岸的距离依然维持在15 km左右，滇池周边形成以自然环境为主要构成的水-陆景观共生界面^②。而在现代城市建设背景下，昆明市建成区不断扩张，对滇池湖岸产生了密切影响，普通的水-陆景观共生界面开始向

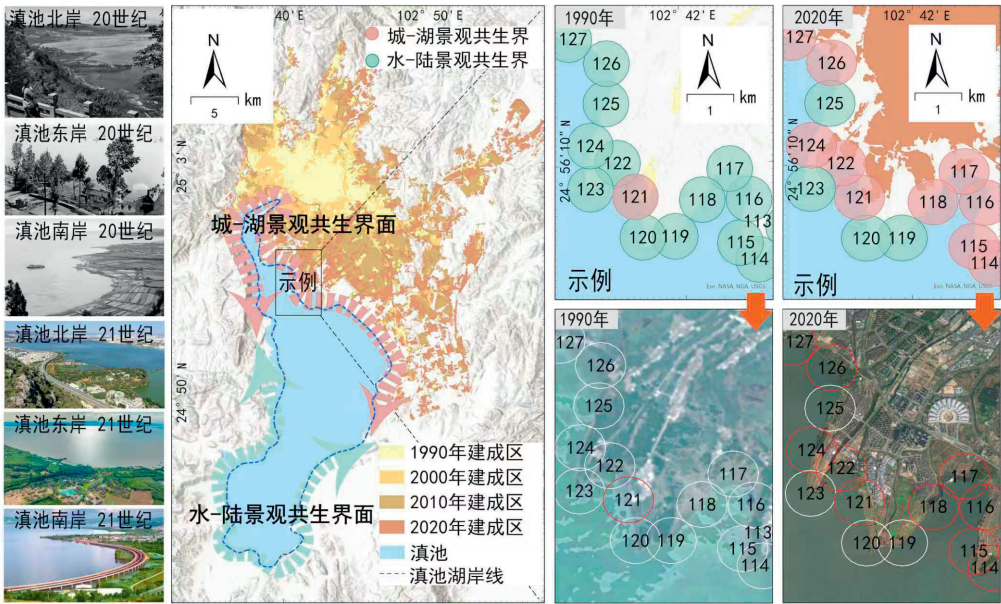


图1 共生界面演变及其提取过程示意(注: 图中数字表示共生界面的样本编号; 底图引自国家地理信息公共服务平台“天地图”; 照片引自http://www.360doc.com/content/23/1205/20/27794381_1106422696.shtml)

城-湖景观共生界面转化。在转化过程中，共生界面内的土地利用景观类型、人口数量、水质条件等因素，受建设项目开发、社区更新改造、退耕还湿行动、点源污染治理等不同人类活动影响而发生着不同的变化。如何协同城市高质量发展与湖泊生态环境保护是当前时期面临的主要挑战。

2 研究方法

2.1 共生界面提取

利用滇池水域及昆明市建成区矢量数据，通过湖岸线与周边邻近用地的交界提取共生界面(图1)。

根据《云南省滇池湖滨生态红线及湖泊生态黄线“两线”划定方案》，滇池向陆地的生态缓冲距离约为500 m。为最大限度确保观测单元的独立性与完整性，以及共生界面中城市与湖泊观测数据的均等性，本研究沿滇池边界线生成1 km间隔的等距离点，并以此为中心生成500 m半径的圆形缓冲区。这些缓冲区共同构成水-陆景观共生界面及城-湖景观共生界面的总体，单个圆形缓冲区构成共生界面的最小观测样本。在所有样本中，与城市建成区相交的记为城-湖景观共生界面样本，其余为水-陆景观共生界面样本。

综合考虑昆明滇池治理的历史以及空间数据的时间，本研究选取1990、2000、2010、2020年4个节点。由于滇池在1980年后结束大规模围湖造田，并于1988年开展治理工作，自

1990年以来的湖泊边界范围基本固定。因此，本研究以1990年湖泊边界为基准，借助ArcGIS 10.8软件提取共生界面。其中，湖泊边界源数据因滇池蓝藻污染问题而存在一定误差，本研究结合历史RS遥感影像图对滇池边界范围进行手动校正。

2.2 城-湖质量评估

2.2.1 指标建构与测算

根据生态宜居城市高质量发展研究，人口密度与城市土地协调增长^[15]、经济活动与经济水平显著提升^[16]、水质与水环境优良^[17]及区域生态系统功能完整^[18]是考察城-湖发展质量的重要内容。近年来尤其注重以生态指标作为良性共生状态的衡量标准，如湿地、林地等生态用地的增加，湖岸生境质量的提升，景观连通性、多样性的提升及湖泊水质的改善等。结合指标的可获得性，本研究选取人口密度、人均国内生产总值、夜间灯光、湖泊水质、生境质量、景观连通性6项指标(表1)进行评估。前3项为社会经济指标，后3项为湖泊生态指标，所有指标均为正向指标。这些指标可以用具有空间属性特征的数据来构建，在评估空间维度的城-湖景观协同程度方面具有优势。

由于指标体系的各项度量值单位不同，采用归一化处理。采用熵值法测度各项指标对综合评估的影响权重，获取不同研究时间段城市和湖泊系统景观的综合指数，同时采用非负平移以确保

熵值法中对数函数的应用不受0值影响(为保证平移处理不破坏原数据的分布, 平移量取0.01)。结合观测指标变化率相关性分析, 探讨城-湖协同关系的时空演变特征。

计算公式为:

$$UDI = \sum (POP\omega_p + GDP\omega_g + NTL\omega_n)$$

$$LQI = \sum (WQ\omega_w + HQ\omega_h + LC\omega_l)$$

$$ROC_{IND} = \frac{IND_b - IND_a}{IND_a}$$

式中: UDI为城市发展指数; LQI为湖泊质量指数; W为各项指标权重; ROC_{IND}为各项测度指标的变化率; IND_a为1990年的测度值; IND_b为2020年的测度值。

2.2.2 数据处理

数据处理流程包括以下几个步骤。1)基于鸟类分布多样性统计数据、滇池水质监测数据, 结合其空间点位生成栅格数据, 运用ArcGIS 10.8软件提取指标。2)基于土地利用数据, 结合InVEST 3.12.1模型计算生境质量指数, 获取HQ指标数据。模型参数设定及赋值参考已有相关研究^[19-20], 基于土地利用数据, 运用Fragstats 4.2软件计算景观格局指数, 获取AI、CONTAG、COHESION指标。3)基于城市人口密度、人均国内生产总值、城市夜间灯光栅格数据, 运用ArcGIS 10.8软件, 通过投影、裁剪、分区统计等处理, 提取POP、GDP、NTL指标。

2.3 城-湖协同关系测算

基于城-湖质量评估获取的城市发展指数(UDI)和湖泊质量指数(LQI), 运用耦合协调度模型分析城市与湖泊的共生协同发展情况, 耦合协调度(coupling coordination degree, CCD), 计算公式为:

$$C = 2 \left[\frac{UDI \times LQI}{(UDI + LQI)^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$T = \alpha \times UDI + \beta \times LQI$$

$$D = \sqrt{C \times T}$$

式中: C为耦合度; T为城市系统与湖泊系统的综合协调指数; D为耦合协调度(D值越大, 城-湖统筹发展情况越好); α、β为城市与湖泊系统的权重, 由于湖泊环境保护与城市高质量发展同等重要, 故取α=β=0.5。

根据耦合协调度D值大小及相关研究分类^[21-22], 将城市与湖泊的协调发展水平

表1 城-湖质量评估指标

评估内容	评估指标	指标数据	指标意义
城市发展指数(urban development index, UDI)	人口密度(population density, POP)	POP栅格	考察城市化水平
	人均国内生产总值(real GDP per capita, 人均GDP)	人均GDP栅格	考察城市经济水平
	夜间灯光(nighttime light, NTL)	NTL栅格	考察城市经济活动
湖泊质量指数(lake quality index, LQI)	湖泊水质(water quality, WQ)	利用Clarity、TP、TN、COD、BOD5、CODMn监测数据提取栅格	考察湖泊的水生态质量
	生境质量(habitat quality, HQ)	利用LULC数据获取HQ栅格;利用鸟类多样性分布统计数据提取栅格	考察共生界面的生境水平
	景观连通性(landscape connectivity, LC)	利用LULC数据提取COHESION、CONTAG、AI栅格	考察共生界面的景观格局

注: 数据来源见注释①。水质指标中, Clarity水体透明度、TP总磷、TN总氮、COD化学需氧量、BOD5 5日生化需氧量、CODMn高锰酸盐指数。景观连通性指标中, COHESION连接度、CONTAG蔓延度、AI聚合度。

划分为: 基本失调(0≤D<0.4)、濒临失调(0.4≤D<0.5)、基本协调(0.5≤D<0.6)、良好协调(0.6≤D≤1.0)4个类型, 评估研究区域的整体均衡发展程度。其中, 前2种类型属于失调发展阶段, 后2类属于协调发展阶段。借助空间聚类法对城-湖协同关系进行可视化分析, 根据聚类结果的集中连片特征, 识别城-湖发展协调度具有高度相似性的区域, 结合资本、技术、政策、管理、规划、资源等探讨城-湖共生的机制与过程。

3 城-湖景观共生界面的协同演化

3.1 景观共生界面的表征变化

本研究沿滇池岸线共设有143个观测样本, 从共生界面的属性变化看, 1990—2020年, 城-湖景观共生界面的样本数依次为8、16、22、41个, 占比分别为5.59%、11.19%、15.38%、28.67%。城-湖景观共生界面主要形成于滇池东北岸。城-湖共生界面逐年增多, 表明昆明市建成区与滇池的空间关联逐渐紧密。

在城湖边界空间的景观格局演变方面, 根据Fragstats 4.2软件计算的景观格局指数, 从类型和景观水平选取表征景观破碎度和景观多样性的代表性指数进行对比分析(图2), 结果表明, 近30年来, 共生界面中的景观斑块密度(PD)、景观形状指数(LSI)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)均呈上升趋势, 且景观斑块密度(PD)在近10年来表现出下降趋势, 进一步分析发现, 自1990年以来共生界面中景观的破碎度、受干扰程度在不断增强。另外, 景观的多样性也有所提升, 且景观破碎化现象在

2010年之后得到一定程度改善。共生界面中景观格局特征的变化反映出城-湖景观共生界面的空间格局整体向好的方向发展。

城-湖景观共生界面的形成与增长为城、湖系统之间风景资源、生物资源等的交互提供了更多的机会与途径, 加速了资源要素流动, 为城-湖协同关系的形成与发展奠定了重要的空间基础。当然, 城-湖景观共生界面增长也是城市建设用地不断侵占湖岸生态空间的结果, 城市建设边界向湖泊岸线的逼近使滇池面临更多的污染源, 农田、耕地、林地面积的减少使景观破碎化风险不断上升, 滇池污染问题日益严峻。城-湖景观共生界面的增长并不意味着绝对的湖岸生态破坏, 其背后蕴含的是城市发展利益与湖泊生态保护之间的空间博弈, 二者协同共生实则是城-湖博弈均衡的结果。

3.2 城-湖景观协同的关系演变

城-湖发展质量的耦合协调度分类及变化结果显示, 观测期内“城-湖景观共生界面”的耦合协调度整体优于“水-陆景观共生界面”(图3-1); 城市发展与湖泊质量的耦合协调度波动上升(图3-2), 处于协调发展阶段的样本占比分别为46.15%、35.67%、48.26%和61.54%, 处于失调发展阶段的样本占比下降15.38%(1990年占比53.84%, 到2020年占比仅为38.46%)。整体而言, 城-湖耦合协调度从失调发展向协调发展阶段的转变表明, 昆明与滇池的统筹发展呈现出正向演进的态势。

从城-湖质量协调等级的转变来看(图3-2), 在4个分类等级中, “基本失调”类型波动下降, 且在2020年占比降至最低; “良好协调”类

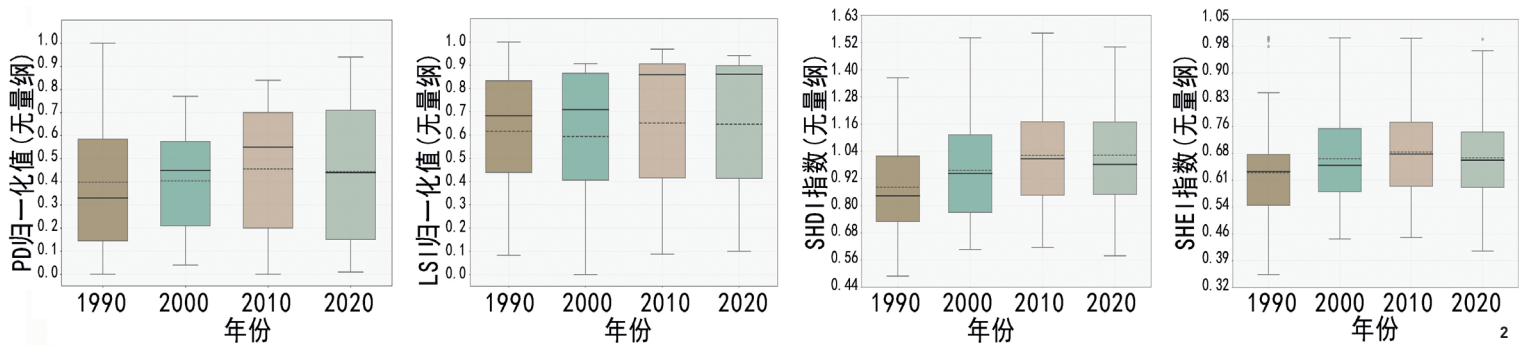


图2 观测时段共生界面中的景观格局指数变化(注:PD和LSI为类型水平指数;SHDI和SHEI为景观水平指数)

图3-1 1990—2020年“城-湖”与“水-陆”景观共生界面的耦合协调度

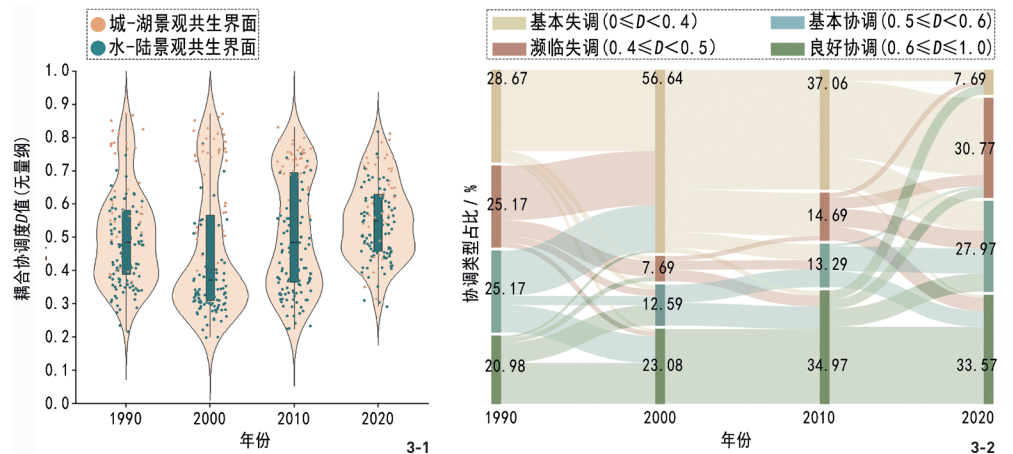
图3-2 1990—2020年城-湖发展质量的耦合协调度分类等级转变

型波动上升,转移类型占比较多且变化较为频繁的主要发生在“濒临失调”与“基本协调”等级之间,表明昆明城市发展与滇池环境保护之间尚处于初级协调阶段,城-湖协调水平有待提升。具体而言,1990年“良好协调”的样本数居于4个研究时段的最末位,到2000年昆明城市化高速发展时期,有半数以上(56.64%)的样本处于“基本失调”状态,协调发展水平的样本数在4个观测时段中降至最低水平,由此反映出在滇池治理早期,共生界面中城市发展与湖泊质量之间的尖锐矛盾。2000年之后,随着城市发展水平稳步提升及湖泊治理力度持续增强,昆明城市发展与滇池环境保护之间的协同水平开始逐年提升。

3.3 城-湖景观协同的空间特征

共生界面中城-湖发展协调度的空间聚集变化特征显示(图4),研究时段内,协调度较高的共生界面在逐年增多。

协调度高值聚集的区域主要分布在滇池东北岸,从共生界面类型识别情况看,这些区域多数属于“城-湖景观共生界面”,是早期昆明城市建成区扩张的主要范围,在过去30年的城市发展过程中反映出总体协调的城-湖关系。分时段看,1990年初期,靠近主城区的区域并未出现明显的高值聚集特征,而从2000年开始,滇池北岸协调度高值聚集样本有所增加,并于2010年阶段形成了协调度高值聚集的典型特征,几乎所有的城-湖景观共生界面均处于高度协调发展的水平,但发展至2020年又出现了毗邻城市建成区高值聚集样本减少的情况。协调度低值聚集的区域主要分布在滇池东南岸、西南岸城乡结合部及西岸山地地带的“水-陆景观共生界面”,并呈现出西岸山麓区域低值聚集样本逐年增加、



东岸村镇区域逐年减少的情况。上述变化表明,城湖协同关系的空间聚集特征会受到不同阶段城市发展规划的影响,具体因素可能包括经济政策、人口变化、自然环境及城市建设等。

4 城-湖景观协同发展的规划启示

4.1 共生界面的空间博弈

共生界面是高原地区城市与湖泊之间博弈协商的重要场所,界面的增长及其耦合协调度的发展变化揭示了城-湖博弈协商的过程。1990年城市发展缓慢,城、湖空间交集有限,但在城-湖共生界面中已经出现耦合协调度低值聚集现象,且协调发展水平也处于濒临失调的阶段。权益协商的重点主要集中在湖泊污染治理方面,对此,共生界面中实行法治治污措施,以“三生空间”的严格管控保障湖泊生态环境。2000年城市化进程加快,在城市发展对空间、资源等的诉求下,湖泊生态空间被侵占问题频发,自然资源供给压力激增,共生界面中耦合协调度降至最

低水平,呈现出了博弈失衡状态。为协调城-湖关系,2010年在城市空间急剧扩张的背景下,政府加大对水生态保护与社会经济发展的统筹力度,通过生态空间退让、生产生活空间布局调整等措施平衡双方权益,城-湖质量的耦合协调度较上一阶段有了明显提升。2020年城-湖空间交集更加紧密,在社会经济水平稳步发展与湖泊生态环境的持续改善下,耦合协调度大幅提升,整体进入城-湖协同发展的阶段。

共生界面的空间治理是以协同城-湖发展,提升流域国土空间规划的管控能力,促进空间效益最大化为目标的重要实践。协商策略方面,自20世纪90年代以来,针对滇池污染治理的相关法规被不断制定和完善,退耕还湿、水体置换、环湖湿地建设等措施有力带动了湖泊生态环境质量的发展。然而,2000年之后,在昆明城市化进程加剧的背景下,毁林开荒、新型污染源等问题不断增加,滇池生态环境日益恶化。即使政府先后出台了系列文件统筹水生态保护与社会经

济发展,但2022年依旧在昆明南郊爆发了地产项目侵占滇池一、二级保护区的事件。可见,共生界面的治理过程中充斥着城市发展与湖泊保护之间的竞争与博弈。从法律法规的角度上,滇池在城-湖发展的博弈过程中似乎总处于弱势的一方,但在长远角度上,共生界面中激烈的空间博弈并不意味着城-湖关系的对立,为实现城-湖共生协同的理想模式,双方通过各种途径寻求对空间资源的最优配置和各方利益的均衡。

4.2 城-湖共生的机制与过程

1)要素流动重塑共生环境。

城-湖共生环境是政策、规划、资本、技术、自然资源等要素的总和,这些要素通过共生界面进行交互影响,在改变城、湖特质的同时,也促成了共生环境的更新与重塑。随着城市发展对湖泊资源供给需求的增加,滇池生态污染的严重性引起了政府和社会层面的聚焦与重视。对此,1990年前后共生界面的空间治理首先从政策层面着手,颁布实施《滇池保护条例(1988)》《滇池综合整治大纲(1989)》等地方法规,对滇池生态环境实行严格的管治。2000年以来随着城市经济、人口的快速发展,共生界面的生态空间侵占及水质污染问题日益严重,当单一的政策工具难以调节发展与保护间的深层矛盾时,滇池区域的治理范式开始向“空间治理”转型,强调将宏观政策与具体空间规划相结合。通过系统实施《环滇池生态保护规划(2003)》《滇池流域水污染防治规划(2006—2010)》等一系列规划,旨在从空间布局上管控生态风险,从而提升综合治理效能。2010年以来,为更有效地调节城-湖发展矛盾,空间治理进一步强化了规划管控要求与指标在纵向传导与横向协同上的系统性,核心措施包括划定并严守城市开发边界,以此加强对城市建设行为的刚性约束与战略引导。在此过程中,政府政策、规划管控、社会资本与技术等要素不断调整以适应城、湖发展需求,在促成共生环境重塑的同时,也为城市、湖泊的发展创造了新的外置条件。

2)环境更新赋能共生单元。

共生环境的调整对共生单元质参量的发展起着重要的推动作用。人居质量、经济水平等是城市作为一个独立共生单元的重要质参量;而水资源、生态资源等则是湖泊作为共生单元的重要质参量。从城-湖边界景观格局特征的演变及城、

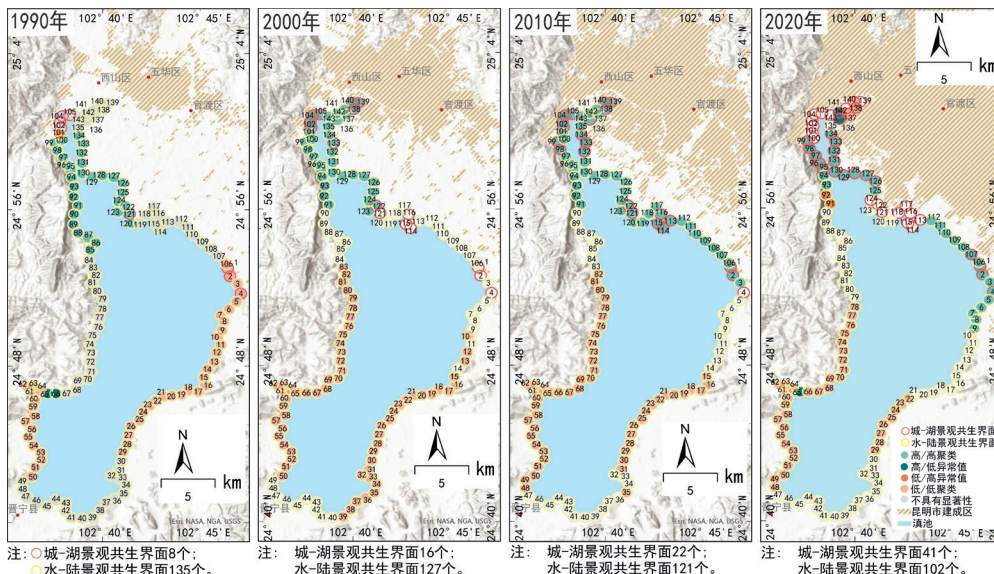


图4 共生界面演变及其耦合协调度的空间分异(底图引自国家地理信息公共服务平台“天地图”)

湖质量评估结果来看,在社会经济发展、资本、信息、技术、政策、规划等环境要素重塑的过程中,湿地扩建工程、水体治理技术、人口迁出政策、空间优化布局等行为促进了湖泊水质、生境水平、景观生态格局等指标的发展,湖泊生态质量得到一定程度的改善,与此同时,城市也通过共生界面获取到更加优质的自然资源,城市发展质量得以明显提升。可见,共生环境要素在重塑的过程中,通过影响共生单元质参量,使共生单元特质发生改变,进而对共生单元的整体发展质量产生影响。

3)单元提质优化共生模式。

共生单元质参量之间关联度和共生度的调节既是共生单元质量提升的基础,又是共生模式优化的关键。研究时段内,协调度低值聚集样本在西岸山地区域呈增加趋势,在东南岸村镇区域却大幅减少。尽管这2类区域均因远离城市中心而具有社会经济滞后与生态环境敏感的特征,却因质参量的调节路径不同而导向了相反的演化结果。在西岸,关键质参量(人类活动与自然生态)的关联趋于恶化:城市基础设施建设直接破坏了山体的水源涵养与水土保持功能,导致湖泊水质下降,社会经济与生态指标陷于低水平共生状态。这一调节失效过程,不仅未能提升单元质量,反而固化了偏利共生模式的内在矛盾。反观东南岸,在主动的生态政策干预下,通过农业生产布局优化、水质治理提升、生态廊道建设等系统性修复,实现了生境质量与景观连通性的显著改善,使生态指标成为驱动城-湖共生关系优化

的积极力量,从而实现了单元质量的协同提升与共生模式向对称互惠共生的优化转型。两岸的对比表明,城-湖系统耦合协调度的提升,本质依赖于对核心质参量关联的精准识别与定向调节。在此基础上,城-湖共生单元才能在实现自身质量发展的同时,通过共生界面的交互影响激发更多的共生能量,从而促进城-湖耦合协调度的提升与共生模式的优化。

4.3 城-湖景观的互促共生与可持续路径

如今,在“五位一体”国家战略布局的引领下,生态文明建设与经济、政治、文化、社会建设深度融合^[23]。通过空间统筹规划与精细化治理实践,湖泊与城市系统正逐步突破历史上二元对立的传统困境,走向协同互促的共生发展新阶段。从城乡一体与区域生态安全的格局出发,未来的空间规划应当在维护共生界面秩序稳定的条件下,审慎对待城市“退避三舍”的湖泊治理方式,积极延续城-湖之间的互促关系。

在以典型高原山地环境与湖泊系统共同构成的城-湖共生区域,受高海拔特殊地理环境限制,城市建设用地供给紧张,共生界面既是区域经济发展的重要地带,又是城市功能提升和空间拓展的热点。与此同时,高原地区生态环境多受降水、气候、地形等自然因素制约^[24],生态质量的改善存在较多不可控因素,而湖泊水体的净化能力弱且周期长,水生态环境治理需要投入更多的资金与更先进的技术。在人类活动干扰与自然因素的制约下,城市发展空间与湖泊生态空间的邻接必然存在降低湖泊质量的风险,同时增加了

生态治理的难度。但是，邻近城市的湖泊也为城市提供了气候调节、水源供给、休闲游憩等一系列生态系统服务，保持城市与湖泊之间良性的共生关系有利于上述服务的价值转化。因此，高原地区城市发展不应刻意疏远湖泊，而应立足共生界面的有效治理，通过景观规划措施进行风险规避与调控，探索城-湖协同的可持续路径。

1)保障城-湖景观共生界面的良性互动，必须把滇池的保护治理，系统性、全过程地融入经济发展、城市规划和建设管理体系之中。景观生态规划策略应重点考虑共生界面空间的范围划定，通过将生态空间划入严格的保护范围，减少人类活动干扰并加强生态修复，为城-湖共生奠定良好的生态基底。此外，在以空间规划协调共生界面中城-湖景观生态格局的同时，也应该从政策层面鼓励绿色生产生活方式、优化产业布局。还应立足区域水资源和水环境承载能力，统筹与城镇化、经济发展及湖泊保护相关的土地、人口、生物资源等要素，制定分区、分段的管理政策及景观生态规划策略，为城-湖协同筑牢基石。

2)提升共生界面的生态系统服务质量，建设高品质生态宜居城市。共生界面生态功能完整是实现高原湖泊与城市协同发展效益最大化的重要保障。城-湖景观共生界面在人居环境、公共生活、功能混合等方面具有优势，是提升城市生态宜居水平、滋养文化内涵与塑造高品质景观的核心建设空间。然而，湖岸土地利用转型是引起共生界面生态系统服务价值变化的主要原因，应考虑高原湖泊城市的高生态价值和高脆弱性特征。国土空间规划应注重加强共生界面土地利用景观格局的优化保护，通过扩大环湖湿地规模并优化湿地布局，遏制土地碎片化的不良趋势，提升共生界面的生态系统服务质量，推动高原湖泊特色宜居城市的发展建设。

3)着力流域范围的共生界面治理，深化城水交融、人水和谐的共生关系。整个滇池流域范围内的河道、水源涵养林同样是城市中重要的蓝绿空间，构成了湖岸之外的次级共生界面。这些次级共生界面也在统筹生态、安全、文化、景观和休闲功能方面发挥着重要功能，但由于篇幅限制，本研究仅讨论了滇池沿岸的城-湖景观共生界面。近来在昆明城市“碧道”建设、渠化河道改造、暗渠复明工程等的实施下，多层次流域空

表2 共生界面的空间博弈过程

共生阶段	博弈状态	共生机制
1990年(拮抗阶段)	城市缓慢发展，湖泊污染严重	生态环境管治提升湖泊质量
2000年(失调阶段)	城市急速发展，湖泊污染加剧	城市优先发展加剧湖泊资源供给压力
2010年(磨合阶段)	城市持续发展，湖泊加强治理	水生态保护与社会经济统筹发展
2020年(协调阶段)	城市稳定发展，湖泊优化治理	空间布局调整优化城-湖共生界面格局

间网络格局逐渐形成，如何通过共生界面中的景观及其游憩系统构建，带动水系沿线资源的活化利用和公共文化休闲设施建设，深化城水交融、人水和谐的共生关系，将是未来研究的重点。

5 结束语

共生界面是高原湖泊与城市之间资源要素交互的平台，对促进城市发展效益具有重要意义，也是筑牢高原湖泊生态保护屏障的主要着力点。基于界面中系统的发展状态研判城-湖关系，可为实现空间最佳效益，统筹社会需求和生态状况，平衡发展与保护的轻重缓急提供更加精确、科学的依据。本研究采用空间数据对昆明与滇池的城-湖景观共生界面开展分析，通过构建城-湖协同发展水平的评估指标，以历时性研究揭示城-湖界面演变的时空过程，以共生界面城、湖质量耦合协调度的计算，考察城-湖协同关系的变化与发展，提出了高原湖泊与城市发展协同的规划路径，期望对城-湖景观共生界面的空间治理带来启发。但由于时空数据可获取性的问题，城市与湖泊系统的评估指标建构方面存在一定局限，同时对于城-湖共生的机制，本研究也仅通过定性描述进行了讨论。最后，研究也从更加系统、深入的视角对滇池水系与城市的共生协同的探索进行展望。

注：文中图片除注明外，均由作者绘制。

注释：

① 来源：土地利用数据来源于武汉大学杨杰、黄昕制作的 中国 30 m 空间分辨率土地覆盖数据集；水体透明度数据来源于宋开山等学者制作的 中国 30 m 分辨率湖泊透明度遥感反演数据集；水质监测数据总磷(TP)、总氮(TN)、化学需氧量(COD)、5日生化需氧量(BOD5)、高锰酸盐指数(CODMn)来源于云南省生态环境厅；鸟类多样性分布使用公民科学数据的观测点位数据(<http://www.birdreport.cn>)；城市夜间灯光数据来源于吴义珍等学者(<https://dataverse.harvard.edu>)，空间分辨率 1 km；城市人口密度数据来源于WorldPop(<https://www.worldpop.org>)和资源环境科学数据注册与出版系统(<http://www.resdc.cn>)，1990年空间分

率 1 km，2000—2020年空间分辨率 100 m；人均国内生产总值数据来源于陈建东等学者(<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.17004523.v1>)，空间分辨率为 1 km；昆明市行政区划数据来源于资源环境数据云平台(<http://www.resdc.cn>)；建成区面积数据来源于科学数据银行(<https://doi.org/10.11922/sciencedb.j00001.00332>)；湖泊边界矢量数据来源于国家青藏高原科学数据中心(<http://data.tpd.ac.cn>)。
② 昆明市志编纂委员会.昆明市志长编(卷二)：古代之二[M].昆明：内部发行，1984。

参考文献：

[1] 曹辉，张亦弛，李平星，等.高质量发展背景下的城-湖共生关系识别与评价：以长三角合肥-巢湖为例[J].自然资源学报，2022，37(6)：1626-1642.
CAO H, ZHANG Y C, LI P X, et al. Recognition and evaluation of city-lake symbiosis under the background of high-quality development: A case study of Hefei and Chaohu Lake in Yangtze River Delta[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(6): 1626-1642.
[2] 韩咏淳，王世福，邓昭华.滨水活力与品质的思辨、实证与启示：以广州珠江滨水区为例[J].城市规划学刊，2021(4)：104-111.
HAN Y C, WANG S F, DENG Z H. Critique, Empirical Study, and Implications of the Vitality and Quality of Urban Central Waterfront: A Case Study of Guangzhou[J]. Urban Planning Forum, 2021(4): 104-111.
[3] 齐君，罗咏菊，肖纪欣.基于环境可供性的骑行风景道规划设计研究：以昆明滇池骑行线路为例[J].中国园林，2021，37(2)：66-70.
QI J, LUO Y J, XIAO Q X. Planning and Design of Scenic Bikeway Based on Environmental Affordances: A Case Study of Kunming Dianchi Lake Cycling Route[J]. Chinese Landscape Architecture, 2021, 37(2): 66-70.
[4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.国家发展改革委关于加强长江经济带重要湖泊保护和治理的指导意见[EB/OL].(2021-11-16)[2024-04-24].<https://zfxxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=18359>.
National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Guiding Opinions of the National Development and Reform Commission on Strengthening the Protection and Management of Key Lakes in the Yangtze River Economic Belt[EB/OL]. (2021-11-16)[2024-04-24]. <https://zfxxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=18359>.

[5]

成玉宁, 王雪原. 拟自然化, 城市湖泊水环境治理的生态智慧与途径: 以南京玄武湖为例[J]. 中国园林, 2021, 37(7): 19-24.
CHENG Y N, WANG X Y. The Ecological Approaches to Water Environment Improvement of Urban Lakes: A Case Study of Nanjing Xuanwu Lake[J]. Chinese Landscape Architecture, 2021, 37(7): 19-24.

[6]

黎元生, 胡熠. 流域系统协同共生发展机制构建: 以长江流域为例[J]. 中国特色社会主义研究, 2019(5): 76-82.
LI Y S, HU Y. Establish a Coordinated Development Mechanism of River Valleys: Taking the Yangtze River for Example[J]. Studies on Socialism with Chinese Characteristics, 2019(5): 76-82.

[7]

LI C, LIN S J, WANG Y T, et al. Evaluation of regional integration in urban agglomeration area from the perspective of urban symbiosis[J]. Sustainable Cities and Society, 2024, 105(1): 105338.

[8]

周建华, 邹顺兰, 周晓成. 基于共生理论的具有历史遗存的公园改造研究[J]. 中国园林, 2020, 36(4): 67-72.
ZHOU J H, ZOU S L, ZHOU X C. Study on Reconstructions of Historic Urban Park Based on the Symbiosis Theory[J]. Chinese Landscape Architecture, 2020, 36(4): 67-72.

[9]

彭翀, 林樱子, 郑夏明. 基于环湖用地功能与土地经济的武汉城中湖泊空间效应分异研究[J]. 中国园林, 2015, 31(5): 97-101.
PENG C, LIN Y Z, ZHENG X M. Research on Spatial Effects Differentiation of City Lakes in Wuhan from the Perspective of Land Functions and Land Prices[J]. Chinese Landscape Architecture, 2015, 31(5): 97-101.

[10]

汪洁琼, 陈奕, 毛永青, 等. 基于Delft3D污染物扩散模拟的城市湖泊景观水体三维形态循证设计[J]. 中国园林, 2021, 37(5): 44-49.
WANG J Q, CHEN Y, MAO Y Q, et al. Evidence-based Design for Three-Dimensional Form of Landscape Water Body of Urban Lake via Delft3D Pollutant Diffusion Simulation[J]. Chinese Landscape Architecture, 2021, 37(5): 44-49.

[11]

ZHANG Q F, KONG Q S, ZHANG M Y, et al. New-type urbanization and ecological well-being performance: A coupling coordination analysis in the middle reaches of the Yangtze River urban agglomerations, China[J]. Ecological Indicators, 2024, 159(2): 111678.

[12]

郭红翔, 朱文泉. 社会经济统计数据空间化研究进展[J]. 地理学报, 2022, 77(10): 2650-2667.
GUO H X, ZHU W Q. A review on the spatial disaggregation of socioeconomic statistical data[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(10): 2650-2667.

[13]

张洪森, 角媛梅, 徐秋娥, 等. 滇池流域土地利用变化及其对水质影响研究综述[J]. 人民长江, 2023, 54(12): 65-73.
ZHANG H S, JIAO Y M, XU Q E, et al. Research review on land use change in Dianchi Lake Basin and its impact on water quality[J]. Yangtze River, 2023, 54(12): 65-73.

[14]

杨枫, 许秋瑾, 宋永会, 等. 滇池流域水生态环境演变趋势、治理历程及成效[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(3): 633-643.
YANG F, XU Q J, SONG Y H, et al. Evolution trend, treatment process and effect of water ecological environment in Dianchi Lake Basin[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2022, 12(3): 633-643.

[15]

尹春, 孙斌栋, 姚夏劫. 人口密度与城市宜居性关系的一般性规律探索[J]. 地理科学, 2024, 44(2): 179-191.
YIN C, SUN B D, YAO X J. Exploring the association of population density with urban livability[J]. Scientia Geographica Sinica, 2024, 44(2): 179-191.

[16]

徐慧敏, 胡守庚. 夜间灯光视角下长江经济带主体城市群的发展差异分析[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(1): 14-23.
XU H M, HU S G. Development Disparity of Major Urban Agglomerations in Yangtze River Economic Zone Under Perspective of Night-time Light[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2023, 32(1): 14-23.

[17]

王梅, 李静, 白一帆, 等. 黄河流域11个城市水质与城市发展水平及其耦合协调分析[J]. 人民黄河, 2023, 45(5): 93-98.
WANG M, LI J, BAI Y F, et al. Evaluation and Coupling Coordination Analysis on Water Quality of Yellow River and Development Level of 11 Cities Along the River[J]. Yellow River, 2023, 45(5): 93-98.

[18]

吴钰茹, 吴晶晶, 毕晓丽, 等. 综合模型法评估黄河三角洲湿地景观连通性[J]. 生态学报, 2022, 42(4): 1315-1326.
WU Y R, WU J J, BI X L, et al. Application of the least cost distance model and the circuit theory model in the evaluation of wetland landscape connectivity in the Yellow River Delta[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(4): 1315-1326.

[19]

张露尹, 朱大明, 左小清, 等. 基于InVEST模型的多情景下滇中城市群生境质量时空演变特征及预测[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2024, 60(4): 547-555.
ZHANG L Y, ZHU D M, ZUO X Q, et al. Spatiotemporal evolution characteristics and prediction of habitat quality in the Central Yunnan Urban Agglomeration under multiple scenarios based on the InVEST model[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2024, 60(4): 547-555.

[20]

孙方飞, 葛小三, 金满库. 基于CA-Markov和InVEST模型的昆明市土地利用与生境质量时空变化及预测[J]. 地域研究与开发, 2024, 43(3): 159-165.
SUN F F, GE X S, JIN M K. Temporal and Spatial Variation and Prediction of Land Use and Habitat Quality Based on CA-Markov and InVEST Models in Kunming City[J]. Areal Research and Development, 2024, 43(3): 159-165.

[21]

王艳, 张雪芳, 雷淑珍. 黄河流域数字经济、产业发展与生态环境耦合协调度的实证检验[J]. 统计与决策, 2024, 40(4): 108-113.
WANG Y, ZHANG X F, LEI S Z. An Empirical Study on the Coupling Coordination Among Digital Economy, Industrial Development, and Ecological Environment in the Yellow River Basin[J]. Statistics & Decision, 2024, 40(4): 108-113.

[22]

刘海龙, 王改艳, 张鹏航, 等. 汾河流域新型城镇化与生态韧性耦合协调时空演变及协调影响力研究[J]. 自然资源学报, 2024, 39(3): 640-667.
LIU H L, WANG G Y, ZHANG P H, et al. Spatio-temporal evolution and coordination influence of coupling coordination between new urbanization and ecological resilience in Fenhe River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2024, 39(3): 640-667.

[23]

唐辉, 杨海莺. 论“五位一体”总体布局中的生态文明建设: 学习习近平生态文明思想[J]. 社会主义研究, 2022(5): 9-16.
TANG H, YANG H Y. On the Construction of Ecological Civilization in the Overall Goals of the Five-Sphere Integrated Plan: Study Xi Jinping's Thought of Ecological Civilization Construction[J]. Socialism Studies, 2022(5): 9-16.

[24]

吴映梅, 李琛, 高彬嫔, 等. 高原湖泊城市生态安全格局构建: 以大理市为例[J]. 生态学报, 2023, 43(19): 8153-8166.
WU Y M, LI C, GAO B P, et al. Construction of urban ecological security pattern in highland lakes cites: the case of Dali City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(19): 8153-8166.

(编辑/张婷)

作者简介:

周艳梅
1994年生/女/云南楚雄人/重庆大学建筑城规学院在读博士研究生/研究方向为景观生态规划理论与方法(重庆 400044)

杜春兰
1965年生/女/青海西宁人/博士/长江学者/重庆大学建筑城规学院院长, 教授, 博士生导师/山地城镇建设与新技术教育部重点实验室/研究方向为风景园林历史与理论、风景园林规划与设计/本刊编委(重庆 400044)

Evaluation of City-Lake Landscape Symbiotic Interface in Plateau Areas and Its Planning Implications: A Case Study of Kunming-Dianchi Lake

ZHOU Yanmei, DU Chunlan*

Abstract: In ecologically sensitive and geographically constrained plateau regions, the dynamic relationship between cities and lakes constitutes a fundamental driver of regional sustainability. These landscapes exist in a state of deep interdependence, where the symbiotic interfaces - the transitional zones where urban and lacustrine systems converge-serve as vital arenas for continuous material and energy flows, as well as profound land use and land cover changes. The spatial configuration and functional management of these interfaces are therefore of paramount importance, directly influencing urban ecological resilience, biodiversity, microclimate regulation, and ultimately, the quality of human habitation. Focusing on the emblematic plateau lake-city system of Kunming and Dianchi Lake, this research employs a longitudinal, spatially-explicit analytical framework to unravel the complex co-evolution of urban development and lake ecology. By integrating multi-source remote sensing imagery, geographic information system (GIS) techniques, and statistical data spanning from 1990 to 2020, we systematically quantified the spatiotemporal patterns of urban expansion and lakeshore transformation. The core of our analysis lies in applying a coupled coordination degree model to evaluate the synergistic symbiosis level of the city-lake landscape system, moving beyond descriptive analysis to a quantified assessment of system harmony. The principal findings of this study reveal a nuanced trajectory of interaction and co-adaptation: 1) Spatial-Temporal Dynamics: The evolving tension and negotiation between urban spatial growth and the imperative for lake ecological protection have been the dominant force reshaping the landscape symbiotic interfaces. This has manifested in cyclical patterns of encroachment, retreat, and stabilization, fundamentally altering the structure and functionality of these critical edge zones. 2) Evolution of Synergy: The city-lake landscape relationship has undergone a significant qualitative shift, transitioning from a prolonged period of disharmony and maladjustment (characterized by urban sprawl at the expense of lake health) to an emerging phase of preliminary coordination and mutualism in recent years. Nevertheless, this coordinated state remains fragile and nascent, with the calculated coordination index indicating substantial scope for progression

towards a more robust and stable symbiotic regime. 3) Multifaceted Drivers: The pathway towards synergistic development is not deterministic but is mediated by a complex, hierarchical set of interacting factors. Our analysis identifies a confluence of drivers including macro-level economic and demographic policies, the immutable constraints and opportunities presented by the natural terrain and hydrological environment, and the tangible impacts of specific urban planning decisions and construction activities. In conclusion, fostering ecologically livable cities in fragile plateau lake regions requires a holistic, system-level governance approach. This study posits that future strategies must pivot towards two synergistic core pillars: firstly, the intentional enhancement of ecosystem service quality through ecological restoration, blue-green infrastructure networks, and sustainable land use planning within the symbiotic interfaces; and secondly, the implementation of integrated, watershed-scale governance mechanisms that transcend administrative boundaries. Such mechanisms should coordinate water resource management, pollution control, spatial planning, and socio-economic development to align human activities with the carrying capacity of the lake ecosystem, thereby securing a sustainable and synergistic future for plateau city-lake landscapes. Notwithstanding these contributions and policy implications, this study acknowledges certain limitations. The construction of assessment indicators for the city-lake system was constrained by the availability and continuity of spatiotemporal data. Furthermore, the underlying mechanisms driving city-lake symbiosis were primarily explored through qualitative analysis, warranting future quantification and mechanistic modeling. Looking ahead, we propose that future research adopt a more systematic and in-depth perspective to explore the synergistic co-evolution between the entire Dianchi water system - encompassing its tributaries, catchment, and hydrological cycles - and the urban fabric, which would further illuminate pathways toward sustainable coexistence in complex plateau lake basins.

Keywords: landscape architecture; city-lake landscape; symbiotic interface; plateau region; synergistic development

Biography

ZHOU Yanmei, female, born in 1994 in Chuxiong, Yunnan Province, Ph.D. candidate of School of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, research area: theories and methods of landscape ecological planning (Chongqing 400044)

DU Chunlan, female, born in 1965 in Xining, Qinghai Province, Ph.D., Dean, Professor, and Doctoral Supervisor of School of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Ministry of Education Key Laboratory of Mountain Town Construction and New Technology, Member of the Editorial Committee of *Chinese Landscape Architecture*, research area: history and theory of landscape architecture, landscape planning and design (Chongqing 400044)