

千岛湖社会—生态系统恢复力测度与影响机理

王 群, 陆 林, 杨兴柱

(安徽师范大学国土资源与旅游学院 旅游发展与规划研究中心, 芜湖 241002)

摘要: 立足反映恢复力属性特征的盆地模型理论, 构建基于稳定性景观的恢复力评价体系。从脆弱性、应对能力两大层面以及社会、经济、生态三大子系统入手, 建立旅游地社会—生态系统恢复力测度指标体系, 运用集对分析法, 测度千岛湖旅游地社会—生态系统恢复力, 甄别影响恢复力的主要因子, 揭示旅游地社会—生态系统恢复力因子影响机理及曲线规律。结果表明: ① 1987-2012年间千岛湖旅游地社会—生态系统脆弱性指数由0.4576缓慢上升至0.5622, 应对能力指数由0.0282快速上升至0.9725, 恢复力指数由0.1276稳步上升至0.8669, 恢复力应是脆弱性与应对能力相互作用的结果。② 总脆弱性受生态子系统脆弱性影响最大, 总应对能力受经济子系统应对能力影响最大, 总恢复力受社会和经济子系统恢复力影响较大。总应对能力对恢复力起着决定性作用, 其中社会和经济系统的应对能力作用更加突出。③ 恢复力因子影响曲线可分为线性递增和递减、非线性U型/倒U型递增和递减6种类型, 不同阶段、不同因子对系统恢复力作用方式、性质、速率具有差异性, 主要以非线性影响为主, 且存在不确定性。

关键词: 旅游地社会—生态系统; 恢复力; 影响因子; 千岛湖

DOI: 10.11821/dlxb201505009

1 引言

可持续本身是一个很难测量和评估的概念^[1], 社会—生态系统理论认识到可持续是一个过程, 而不是一个最终目标^[2]。恢复力是社会—生态系统 (social ecological system, 简称 SESs) 概念性框架的核心理论。Gunderson 和 Holling (2001) 将恢复力正式引入社会—生态系统, 并将该领域的恢复力定义为社会—生态系统经受干扰并可维持其功能和控制的能力^[3]。2002年在瑞典召开的“可持续发展世界峰会”提出构建恢复力是全人类共同的责任, 并建议将恢复力的观点作为补充内容加入《21世纪议程》中^[4]。社会—生态系统恢复力理论依托Holling等的适应性循环理论和扰沌理论, 更加关注变化中的可持续性^[5]。系统正是通过运行中 (即适应性循环过程中) 的“记忆”与“反抗” (扰沌) 来不断增强其恢复力, 应对系统运动中内外部相互作用带来的各种问题^[6]。当干扰超过恢复力的阈值时, 系统就会发生稳态转换 (regime shift), 即进入新的更为稳定或非理想的状态中^[7]。干扰作用于系统要素, 在这个系统里, 任何一个要素的变化都会引起其他要素的连锁反应^[8]。社会生态系统的行为往往由一些关键变量进行控制, 要从理论向实际应用转变需要

收稿日期: 2014-08-07; 修订日期: 2014-12-25

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41230631) [Foundation: Key Program of National Natural Science Foundation of China, No.41230631]

作者简介: 王群(1979-), 女, 安徽肥西人, 副教授, 博士生, 主要研究方向为旅游生态环境管理研究。

E-mail: junyang110771@163.com

通讯作者: 陆林(1962-), 男, 安徽芜湖人, 博士, 教授, 博士生导师, 中国地理学会会员(S110000078M), 主要从事人文地理教学与科研工作。E-mail: llin@263.net

对恢复力进行评估和计算,才能遴选出恢复力变化的主要驱动因子,揭示系统恢复力变化驱动机理,探索其适应和转化机制,为社会—生态系统管理提供科学依据^[9-10]。

旅游业可持续发展是全球可持续发展的重要内容之一,旅游地是旅游业发展的依托,也是一个相对比较完整的社会—生态系统^[11]。旅游开发是旅游地社会—生态系统的主要扰动因子^[12],以社会—生态可持续为目标的旅游发展本质使恢复力成为考虑的中心要素。社会—生态恢复力的范围作为旅游研究和评估的尺度,增加了更多旅游可持续发展的意义^[13]。恢复力测度也成为目前国内外旅游地社会—生态系统研究的热点,但在测度指标、模型和认识上仍处于探索阶段。测度指标多是借鉴生态系统的替代指标法等,选取一些单要素,如与旅游活动有关的生物物理指标^[14]、固体废弃物指标^[15]等,尚不具普及性,且测度结果值没有区间限制,不易判断高低;测度模型上有最小描述性模型^[16],自然环境质量、资本、大众旅游者和生态旅游者的四维阈值模型^[17],旅游目的地生态—环境质量、经济—财政质量和社会—文化质量的动态恢复力模型^[18],旅游对社区恢复力影响的概念框架^[19],旅游恢复力圈层^[20]等,但这些模型尚停留在理论与概念探讨中,实际运用有待进一步深化。Zurlini (1999) 等以系统敏感性和压力为变量建立的线性脆弱模型^[21],具有较强的可操作性,国内许多学者以脆弱模型的反面即恢复力进行了相关实证研究,但恢复力与脆弱性关系的认识尚存在一定争议。Folke 等 (2002) 认为恢复力和脆弱性是同一硬币的两面,脆弱性的反面就是恢复力^[22]。因此,允许就其社会—生态系统脆弱性而言评估一个旅游地的恢复力^[15, 23]。但是,恢复力测度不仅要考虑系统脆弱性,还应考虑系统抗性。恢复力和脆弱性关系就如同一个双螺旋结构,在不同的社会层面和时空尺度中交叉,既不能简单视为硬币的正反两面,也不能归纳为一个连续体的端点,应该强调两者之间直接且紧密地联系;恢复力和脆弱性可呈正相关性;也可呈负相关性,脆弱性与恢复力的关系并不确定^[24-25],应考虑应对能力的强弱。因此本文尝试从恢复力属性角度,以旅游活动干扰作为主要驱动因素而引发的系统脆弱性和应对能力为指标,建立旅游地社会—生态系统恢复力测度框架,以千岛湖为案例地,对其1987-2012年社会—经济—生态复杂系统恢复力进行历时定量测度,揭示恢复力影响因素及机理,衡量系统可持续发展能力。

2 旅游地社会—生态系统恢复力测度框架

社会—生态系统是人(社会系统)与自然(生态系统)紧密联系的复杂适应系统,受内外部因素干扰和驱动^[26],具有不可预期、自组织、非线性、多稳态、阈值效应、历史依赖和多种可能结果等特征^[13, 22]。决定一个社会—生态系统是否具有恢复力,关键在于系统处理、应对变化的能力,而并不是避免它们的战略^[27]。恢复力决定了一个系统经受也许会超过控制的意外干扰和惊奇的脆弱性。当超过了控制,系统或重新自组织,或滑向另一个稳态^[28]。Walker 等 (2006) 用盆地模型描述了恢复力的属性特征^[29]。盆地理论模型包括三个主要的概念,即状态空间 (state space)、吸引盆地 (basin of attraction) 和稳定性景观 (stability landscapes)。就稳定性景观而言,恢复力的构成元素有4个:范围 (latitude, L): 系统在丧失恢复能力前可改变的最大量;抗性 (resistance, R): 改变系统状态的难易程度;不稳定性 (precariousness, Pr): 系统距阈值的距离;扰沌 (panarchy, P): 由于跨尺度相互作用,局部尺度上系统的恢复力将受到不同尺度上系统状态及其变化的影响。旅游地社会—生态系统实际上包含整个旅游地的社会、经济和生态系统,旅游活动是系统的主要干扰因素,同时受不同尺度的扰沌影响,具有更强的开放性、复杂

性和动态性。在系统中的某一个稳定性景观中, 其稳定性的维持是在扰沌外力作用下, 景观不稳定性与抗性相互作用的结果, 其结果决定了该景观的恢复力。若恢复力大, 则该系统则仍处在原稳定性景观中, 或在此基础上向着更高层次发展; 若恢复力小, 并达到阈值, 则该景观会超越阈值进入到另一稳定性景观中, 或者陷于暂时系统崩溃中。但是突破景观系统阈值, 并不代表着系统一定不可持续, 而可能是在适应性循环圈中发展阶段的不断提升或进入另一个可持续的系统(图1)。因此, 脆弱性评估的结果不能完全代表恢复力, 恢复力大小还取决于系统应对能力大小, 同样脆弱的两个系统, 应对能力大小不同, 其恢复力也不同。

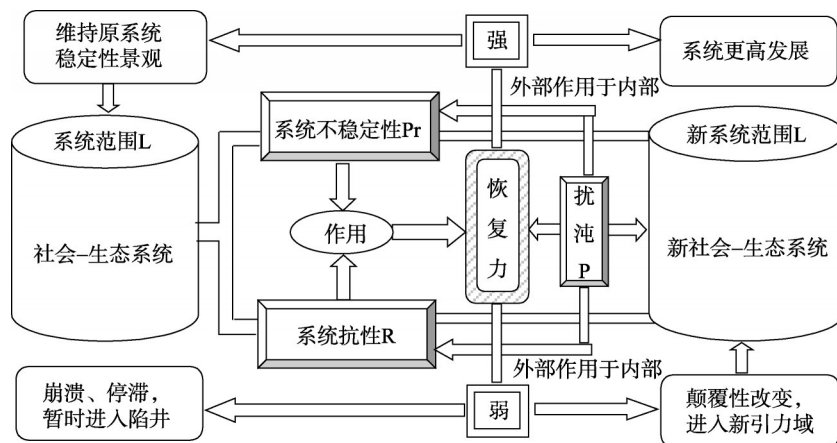


图1 基于属性特征的旅游地社会—生态系统稳定性景观恢复力评价

Tab. 1 The evaluation of stability landscapes resilience on tourism socio-ecological system based on its characteristics

旅游地社会—生态系统恢复力测度不同于系统的稳定性研究, 更关注变化中的可持续性。从恢复力的4个构成要素来看, 系统范围依赖于恢复力测度结果与边界的比较, 扰沌具有不确定性、不均衡性, 对恢复力的影响可通过对系统要素的影响而体现。因此, 就恢复力测度因子而言, 主要由系统不稳定性和系统抗性两部分组成。系统不稳定性主要通过系统外部干扰和内部演替而引发的一些脆弱性因子来衡量, 旅游地社会—生态系统不稳定性包括生态系统、经济系统和社会系统3个方面, 其脆弱性因子主要是由于旅游开发、发展而引起的各子系统相关因素变化, 旅游地类型、特征、发展模式、区域环境不同, 其脆弱性因子和脆弱程度也不同。系统抗性主要通过系统应对和适应能力因子来衡量, 旅游地社会—生态系统总体发展水平、政策、制度等不同, 会导致系统应对能力的巨大差异。这些测度因子通常有正向和负向、线性和非线性、快速和慢速、确定与不确定等之分, 干扰和影响着旅游地社会—生态系统功能。因此, Smith等(2008)指出在任何情况下, 恢复力的情境本质应是特有的^[30]。每一个社会—生态系统都有它自己发展恢复力的方式, 所以每个实证研究都应有自己特别的深度。

3 研究区域、数据与思路

3.1 研究区域概况

千岛湖位于浙江省淳安县, 即新安江水库, 1959年水库未建前, 此地是一个粮食大县、富县, 以农业经济为主。1959-1981年, 水库建成后, 原淳安县城和遂安县城被淹没, 两县区域合并, 形成目前的淳安县。大量农田被淹没, 移民外迁, 此地变成一个山

区、库区、穷区、移民区。留下的农民不得不往山上退居,在林地上谋求新的生存手段,另一方面由于水库蓄水导致的地方微气候改变,有利于林果业发展,当地渐渐形成了林茶经济。1982年秋更名为千岛湖,1984年12月15日新安江水库作为风景区定名为“千岛湖”,千岛湖旅游地开始初步形成。经过约30年的发展,千岛湖现已成为首批国家重点风景名胜区、国家5A级旅游区和全国最大的国家级森林公园,处在杭州—千岛湖—黄山这条国家级旅游线的中段。2013年千岛湖旅游接待人数已达908.66万人次,旅游收入达81.21亿元,旅游业成为当地的主导产业。

纵观千岛湖历史发展,千岛湖社会—生态系统先后经历了从农业经济到林茶经济到旅游经济的发展历程。目前湖泊是当地社会—生态系统的第一关键要素,旅游是第二关键要素,社会—生态系统较为复杂,主要表现在:一是湖泊和旅游相结合,旅游因湖泊及其周边环境兴起,湖泊因旅游而更具价值;二是存在多种管理形式与机构,旅游、水利、林业、渔业等部门和机构交叉管理;三是资源与经济紧密联系,湖泊一方面承担着养殖、灌溉、防洪、生态服务等多种功能,另一方面还是旅游的主要吸引物,湖泊是当地最主要的生态资源和敏感因子,围绕湖泊开展的经济活动,尤其是旅游活动也组成了当地最重要的经济类型。千岛湖旅游地由于其自然和社会的高度耦合性、对旅游活动的相对敏感性以及在生态功能区划中的关键性,应成为恢复力研究的重点区域。从1982年至今,千岛湖旅游业经历了从无到有到繁荣的过程,因为旅游活动的驱动,社会、经济、生态系统都发生了巨大的变化。当前旅游地社会—生态系统是否具有充足的恢复力?其恢复力受哪些因子影响?影响的性质和速率如何?通过恢复力定量测度,可判断其维持当前稳定性景观的能力。

3.2 数据来源

资料主要来源于《淳安统计年鉴》(1987-2012)、《淳安年鉴》(1997-2003、2005-2012)、《淳安县国民经济和社会发展统计公报》(1987-2013)、《新安江大移民》、《淳安县志》、淳安县环境质量公报(2003-2012)、淳安县十二五环境保护规划、淳安县环境保护工作总结(2012)、《千岛湖及新安江上游流域水资源与生态环境保护综合规划(征求意见稿)》(2012)等公开出版资料,以及2013年7月、2014年8月实地调查淳安县政府、旅游局、环保局、工商局、公安局、统计局等相关部门及访谈相关管理者、旅游从业人员、居民获取的资料。

3.3 测度指标与方法

3.3.1 测度指标体系 由于区域特性及要素的不同,到目前为止尚没有形成范式的恢复力测度指标体系,理论上恢复力测度由社会、治理、经济、生态四个要素组成^[31],各要素主要测度核心依次是社会稳定和学习、治理灵活性和权力分享、经济多样性与增长、生态自然性与人类影响。千岛湖现状和访谈调查表明,治理恢复力因子可能多为感知测度或通过对其它因子的影响而显现。根据图1建构的恢复力测度框架和各要素测度核心,选取社会子系统、经济子系统、生态子系统等3个子系统为测度单元,每个单元分为脆弱性和应对能力两个体系,从客体角度选取可量化因子。借助特尔菲法和相关性分析,遴选39项指标因子(表1),对千岛湖旅游地社会—生态系统进行历时性测度。

3.3.2 测度方法选取 旅游地社会—生态系统恢复力是系统脆弱性与应对能力在变化中相互作用的结果,各指标的影响有正负向之分,且对系统的影响可能更多的是非线性的、不确定的。因此,恢复力测度实质是一个具有确定性的评价指标和评价标准与具有不确定性的评价因子及其含量变化相结合的分析过程。集对分析(SPA)正是一门新的处理不确定性问题的系统理论方法,是解决多目标决策、多属性评价、非线性影响的有效途

表 1 千岛湖旅游地社会—生态系统恢复力测度指标体系

Tab. 1 Indicator system for tourism socio-ecological system resilience in Qiandao Lake

项目	社会系统 恢复力指标	指标释义 影响性质	经济系统 恢复力指标	指标释义 影响性质	生态系统 恢复力指标	指标释义 影响性质
脆弱 性指 标	人口自然 增长率(‰)	衡量系统人口 特征(-)	旅游经济总收入 (×10 ⁸ 元)	衡量系统旅游 效益(+)	森林覆盖率 (%)	衡量系统自然条件 (+)
	外来人口 比例(%)	衡量系统开 放性(-)	旅游人数 (×10 ⁴ 人)	衡量系统旅游 规模(+)	噪声水 平(db)	衡量旅游干扰带来的 噪声变化(-)
	旅游者与当地 居民比	衡量系统人口 结构(+)	旅游总收入占 GDP比重(%)	衡量旅游产业在国 民经济中的地位(-)	空气污染 指数API	衡量旅游干扰导致的 空气变化(-)
	社会犯罪率(%)	衡量系统安全(-)	旅游业增长弹性 系数(%)	衡量旅游业在 整个经济发展的 健康程度(+)	人口密度 (人/ km ²)	衡量旅游干扰导致的 土地承载力(-)
	失业率(%)	衡量系统稳定(-)	客源市场 集中度(%)	衡量旅游 市场状况(-)	降水量(mm)	衡量系统自然条件 (-)
	人均居住面积 (m ²)	衡量系统社会效 益(+)	生计多样性指数	衡量人们谋生 手段是否多样化(+)	水位年 变幅(m)	衡量水量生态安全 (-)
	等级公路里程 (km)	衡量系统 基础设施(+)	产业结构 多样化指数	衡量产业结构 平衡问题(+)	废水排放量 (×10 ⁴ t)	衡量废水排放导致的 生态压力(-)
	义务教育普及 (%)	衡量系统 学习能力(+)			耗电量 (×10 ⁴ kw/h)	衡量社会用电导致的 生态压力(-)
	社会消费品零 售总额(×10 ⁴ 元)	衡量系统 消费能力(+)			全湖营养 状态指数	衡量旅游干扰导致的 水质生态安全(-)
	地方财政支出(× 10 ⁴ 元)	衡量社会财政 支出力度(+)	GDP(×10 ⁸ 元)	衡量经济总量(+)	三同时执行 合格率(%)	衡量环保执法制度情 况(+)
应对 能力 指标	教育支出(×10 ⁴ 元)	衡量教育 扶持力度(+)	财政总收入 (×10 ⁴ 元)	衡量地方政府 经济实力(+)	污染源治理投 资额(×10 ⁴ 元)	衡量污染治理投资力 度(+)
	社会保障和就 业支出(×10 ⁴ 元)	衡量社会稳定性和 就业支持力度(+)	居民人均 收入(元)	衡量居民 收入水平(+)	生活污水 处理率(%)	衡量污水处理情况 (+)
	医疗卫生支出 (×10 ⁴ 元)	衡量医疗 支持力度(+)	社会固定资产投 资完成额(×10 ⁸ 元)	衡量资本 投资额度(+)	生活垃圾无害 化处理率(%)	衡量固体废弃物处理 情况(+)
	金融机构存款 余额(×10 ⁴ 元)	衡量社会 存储状况(+)			节能环保支出 (×10 ⁴ 元)	衡量环境保护措施及 新能源采用状况(+)

径,已在评价、管理、预测和规划等研究领域得以广泛应用^[32-36]。基于集对分析的社会—生态系统恢复力测度是将恢复力状况与既定的恢复力测度标准构成一个集对,通过两者间的比照分析,并根据正负向影响,获得恢复力测度的量化指标,基本思路见参考文献[35]。

运用集对分析进行多属性评价,记为 $M = \{Q, T, E, W\}$,评价方案集 $Q = \{q_1, q_2, \cdots, q_m\}$,评价指标集 $T = \{t_1, t_2, \cdots, t_n\}$,评价对象集为 $E = \{e_1, e_2, \cdots, e_k\}$,评价指标权重集 $W = \{w_1, w_2, \cdots, w_n\}$ 。在同一空间内进行对比确定各评价方案中的最优指标构成最优评价集 $U = \{u_1, u_2, \cdots, u_n\}$,各评价指标中最劣指标构成最劣评价集 $V = \{v_1, v_2, \cdots, v_n\}$,其中, u_n 、 v_n 分别为指标的最优值和最劣值。集对 $\{Q_m, U\}$ 在 $[U, V]$ 上的联系度为^[37]:

$$\begin{cases} \mu(q_m, U) = a_m + b_m i + c_m j \\ a_m = \sum w_p a_{pk} \\ c_m = \sum w_p c_{pk} \end{cases} \quad p = (1, 2, \cdots, n)$$

(1)

式中: a_{pk} 和 c_{pk} 分别为评价指标 t_{pk} 与集合 $\{v_p, u_p\}$ 的同一度和对立度; w_p 为第 p 项指标的权重。 a_m 值越大表示同一度越高, c_m 值越大,表示对立度越大。

$$\text{当 } t_{pk} \text{ 对评价结果起正向作用时, } \begin{cases} a_{pk} = \frac{t_{pk}}{u_p + v_p} \\ c_{pk} = \frac{u_p v_p}{t_{pk}(u_p + v_p)} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{当 } t_{pk} \text{ 对评价结果起负向作用时, } \begin{cases} a_{pk} = \frac{u_p v_p}{t_{pk}(u_p + v_p)} \\ c_{pk} = \frac{t_{pk}}{u_p + v_p} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{方案 } q_m \text{ 与最优方案集 } U \text{ 的相对贴近度 } r_m \text{ 为: } r_m = \frac{a_m}{a_m + c_m} \quad (4)$$

r_m 反映了被评价方案 q_m 与最优方案集 U 的联系度, r_m 值越大表示被评价对象越接近最优方案。

千岛湖旅游地社会—生态系统受政策、产业、市场、自然等不确定因素影响较大,且多数指标没有标准参考值,只有正负向影响及优劣之分。因此,采用熵权法,根据指标影响性质和最大最小值进行数据标准化,消除变量之间的不同量纲,确定集对分析中的权重,主要步骤见参考文献[38]。

4 千岛湖旅游地社会—生态系统恢复力综合测度结果分析

借鉴相关研究成果^[39],将系统恢复力在(0,1)范围内相对划分为三级,即 $0 \leq r_m \leq 0.33$ 为低级, $0.33 < r_m < 0.67$ 为中级, $0.67 \leq r_m \leq 1$ 为高级。根据熵权法确定的各指标权重及公式(1)-(4),分别对1987-2012年千岛湖旅游地三个子系统及复杂总系统的脆弱性指数、应对能力指数以及恢复力指数进行计算,结果分析如下。

4.1 脆弱性指数呈缓慢上升趋势

纵观26年间千岛湖旅游地社会—生态复杂系统的脆弱性指数,总体上处于中等脆弱水平,并呈缓慢上升趋势。大致可分为两个阶段:1987-2004年为平稳阶段,处于0.43~0.48之间;2005-2012年为上升阶段,处于0.5~0.6之间,尤其是2005-2009年逐年上升,此后有所下降,趋于相对平稳。曲线趋势与生态系统脆弱性趋势及阶段划分大致相同(图2a)。

1987-2004年,系统同一度在0.34~0.44间波动,对立度在0.42~0.48间波动,脆弱性在二者的相互作用中处于较为平稳状态。此期间,旅游业发展虽经历了从起步到繁荣的过程,但与脆弱性指数呈正向影响的主要指标——生态指标,如空气污染指数、废水排放量、用电量等都处在较低的水平,湖水水质也一直处于贫营养状态。2004年,旅游收入占GDP的比重也仅为18%左右,旅游业发展主要以观光旅游为主,尚未对系统脆弱性产生明显的影响。

2005年后,由于旅游业的迅猛发展和深化,对生态环境的影响日益上升,系统同一度从2005年的0.4037上升到2009年最高值0.5201,对立度从2005年的0.4030下降到2008年最低值0.3655,系统脆弱性显著上升。湖水水质由贫营养上升为中营养状态,空气污染指数由2004年的34上升到2007年的71,旅游由观光旅游逐渐向休闲度假旅游深度发展,游客量从2004年119.7万增加到2012年796.6万,大量游客涌入,加大了系统脆弱性。2009年之后,政府、企业和居民对旅游发展的理性认识进一步加强,充分认识到资源保护是当地旅游业发展之根本,制定了一系列保护政策,社会—生态系统脆弱性增

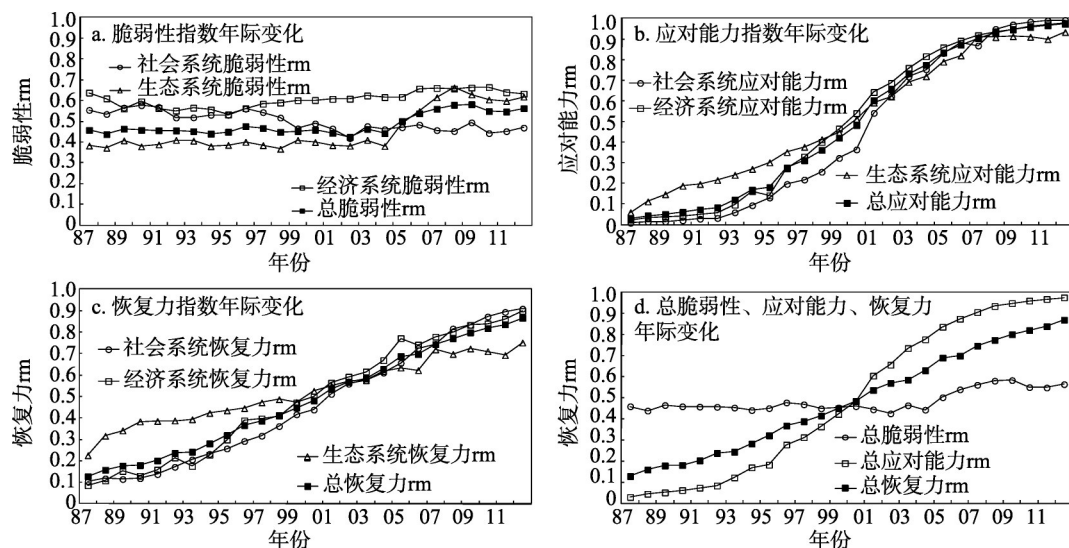


图2 千岛湖社会—生态系统脆弱性、应对能力、恢复力指数年际变化态势(1987-2012年)

Fig. 2 The yearly changing trends of tourism socio-ecological system with regard to fragility, response capacity and resilience in Qiantao Lake (1987-2012)

长相对缓慢。

4.2 应对能力指数呈快速上升趋势

千岛湖社会—生态复杂系统的应对能力指数呈逐年快速上升趋势, 由1987年的0.0282上升到2012年的0.9725, 应对能力经历了由空白到几近完备的过程。根据rm指数阶段划分, 弱中强三个阶段分别为: 1987-1997年为弱应对能力阶段; 1998-2002年为中应对能力阶段; 2003-2012年为强应对能力阶段。复杂系统曲线趋势与社会、经济、生态子系统应对能力曲线趋势基本相同, 阶段划分与经济子系统相同(图2b)。

各曲线趋势的一致性说明复杂系统的各子系统应对因子是相互关联的, 但经济系统应对能力提升是生态和社会应对能力提升的基础。26年间, 生态环境保护力度逐年加大, 经济发展水平逐年增高, 社会保障措施逐年完善。尤其是千岛湖旅游业发展在1998年完成了景点革命, 走上系统化发展, 2004年向休闲度假旅游转型, 实现深度发展, 乡村旅游规模不断增大, 旅游经济收入渠道增加, 更加促进了系统应对能力的增强, 并使系统应对能力向上一个台阶迈进。由于3个子系统的相互牵制, 总系统的应对能力更加稳定, 呈现逐年上升态势。在各系统脆弱性有所加大的情境下, 应对能力的不断加强对提高千岛湖社会—生态系统恢复力具有至关重要的作用。

4.3 恢复力指数呈稳步上升趋势

尽管脆弱性指数呈现出一定的上升趋势, 但伴随着强大的应对能力, 千岛湖社会—生态复杂系统的总体恢复力指数仍呈现出逐年稳步上升趋势, 由1987年的0.1276上升到2012年的0.8669。弱中强3个阶段划分为: 1987-1996年为弱恢复力阶段; 1997-2004年为中恢复力阶段; 2005-2012年为强恢复力阶段。系统总恢复力的逐年提升是3个子系统共同作用的结果。相比较而言, 总恢复力受社会和经济子系统恢复力影响较大, 尤其是社会和经济系统的应对能力作用更加突出。生态子系统应对能力中污染源治理投资额、节能环保支出, 实际上也就是经济投入, 因此恢复力指数曲线阶段划分与经济子系统大致相同, 曲线圆滑度与社会子系统较接近(图2c)。

综合总脆弱性、应对能力和恢复力关系,系统具有一定的自我调节与恢复能力。1987-1997年,系统应对能力处于极弱的状态,但由于系统自身活力及相对稳定的脆弱性,系统恢复力指数明显高于应对能力指数。当应对能力快速提升到一定程度时,又受到脆弱性的牵制,恢复力指数渐渐落后于应对能力指数。同时,应对能力的作用时效也具有一定的滞后性,2002年应对能力已经进入强应对阶段,脆弱性指数也尚处于稳定波动期间,但是恢复力却在2005年才进入强应对阶段,说明各种投入建设显效需要一定的时间。尤其是千岛湖作为湖泊型旅游地,资源更加敏感,减少旅游开发给水质、森林及其它环境带来的负面影响,是一个长期过程。总体上,在强大的应对能力下,脆弱性微弱增加,改变不了总恢复力提高的趋势。2005年始,系统脆弱性开始显著增强,由于强大的系统应对能力提高,系统恢复力仍然保持着稳步增长态势,印证了这一点(图2d)。

5 千岛湖旅游地社会—生态系统恢复力影响机理分析

在一个富有恢复力的系统内,变化具有创造发展、新奇和创新机会的潜力;当一个旅游地变得很脆弱时,其恢复力是低的,一个很小的变化也许就会导致灾难性的后果^[40]。恢复力的核心思想就是一个社会—生态系统在以不约束或削弱未来机会的方式下,能够建立或提高学习、适应和响应的程度^[13]。从目前分析来看,千岛湖旅游地社会—生态系统是富有恢复力的,但同时也应看到其脆弱性的缓慢增长,系统内任何一个要素的发展都有可能引起其它要素的连锁变化,进而影响系统恢复力。因此,研究恢复力各要素的影响方式、性质、速率等机理和规律成为必要。由于因子影响具有正负向之分,因此将各指标依据正负向进行标准化后,运用SPSS 19.0对26年各子系统的脆弱因子和应对因子进行相关性分析。

5.1 脆弱性影响因子与恢复力关联分析

研究发现千岛湖降雨量、水位年变幅、旅游业增长弹性系数、产业结构、客源市场集中度、人口自然增长率、失业率等与恢复力,影响规律性不强,相关系数 R^2 均小于0.3,限于篇幅,本文对这些因素暂不做分析。

5.1.1 生态子系统脆弱性 生态子系统脆弱性涉及生态环境本底条件和旅游活动干扰的环境变化两大类。生态环境本底条件中,森林覆盖率与恢复力呈线性正向关系(R^2 为0.9493),森林覆盖率直接影响着系统恢复力的高低,森林覆盖率越高,系统恢复力越大。人口密度与恢复力呈线性负向关系(R^2 为0.8599),人口密度的增加会加重土地承载力,对生态子系统恢复力具有直接负作用(图3a)。

水质营养指数、空气污染指数、用电量、噪声等旅游活动干扰的环境变化因素,均与恢复力呈现出非线性负向关系,相关性 R^2 均在0.82以上。噪声在起初增长时,会引起恢复力的急剧下降,但增长到一定程度时,恢复力减弱趋势趋于缓慢。水质营养化指数增高,会逐年导致恢复力下降,直至系统进入瘫痪状态。耗电量和空气污染指数与恢复力的回归出现了拐点,说明二者在起初刚增长时,尚不对恢复力构成威胁,而超过一定范围时,其增长会引起恢复力的迅速减退(图3b)。旅游发展给当地带来了巨大的环境压力,因旅游活动而引起的环境变化要素,尽管对恢复力的影响速率和影响性质不同,但在一定程度上都削弱了整个千岛湖社会—生态系统恢复力。

5.1.2 经济子系统脆弱性 经济子系统脆弱性涉及旅游经济发展和社会生计两大类。在旅游经济发展因子中,旅游总收入和旅游人数均与总恢复力指数呈现出非线性正向关系,相关系数 R^2 分别为0.8377和0.9078。旅游总收入和旅游人数对恢复力由弱至中的提高具

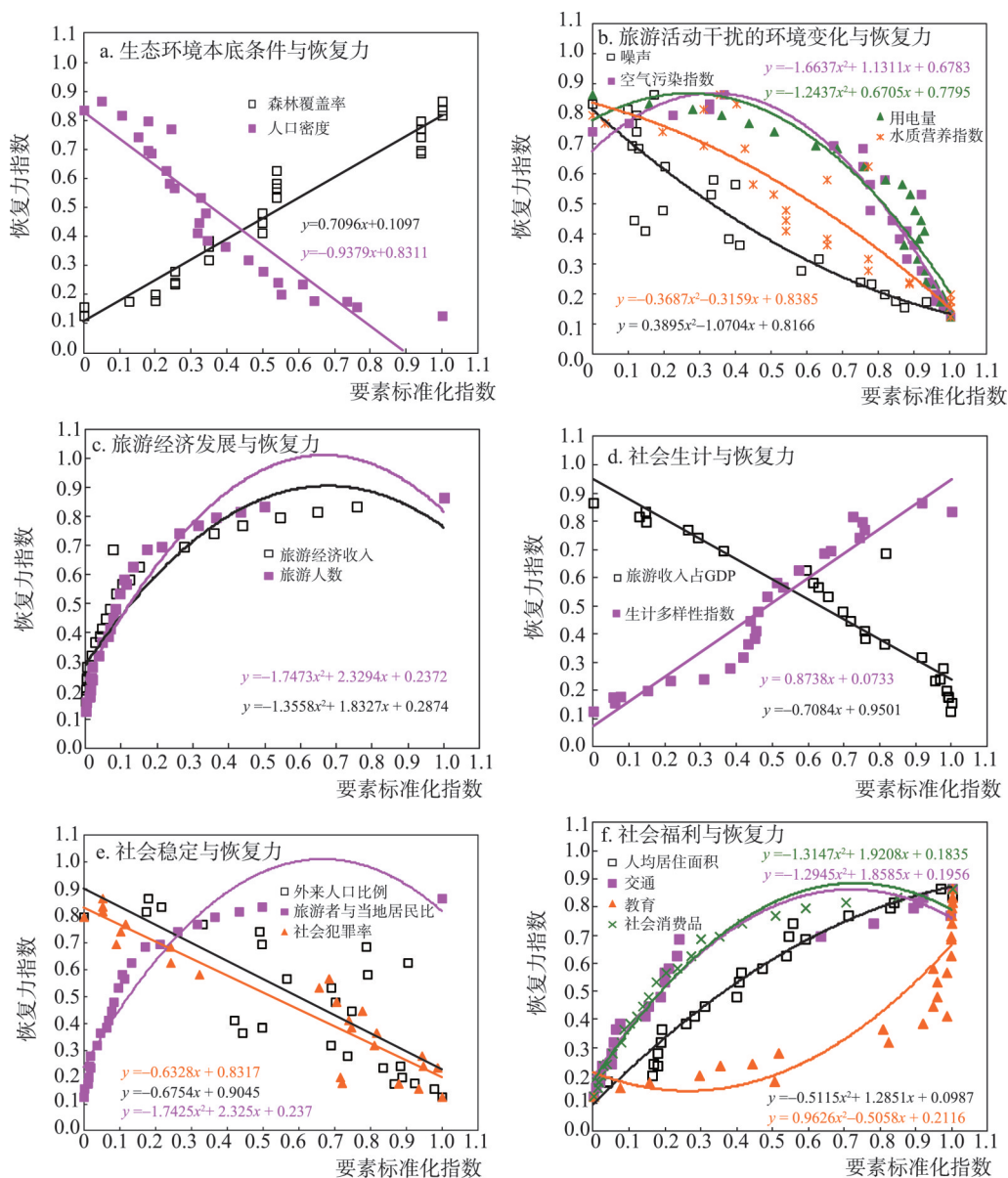


图3 千岛湖社会—生态系统脆弱性与恢复力关联分析(1987-2012年)

Fig. 3 The correlation analysis on socio-ecological system fragility and resilience in Qiandao Lake (1987-2012)

有巨大的推动作用。但是当恢复力进入强阶段时,二者对恢复力的提高作用明显减弱,并逐步趋于平稳(图3c)。

社会生计因子中,生计多样性、旅游产值占GDP的比重均与恢复力指数呈现出线性相关关系, R^2 分别为0.9245、0.8861,但影响性质相反。旅游收入占GDP的比重逐渐增大,表明由于单一产业的支柱地位加强,不利于系统的稳定性,恢复力会逐渐降低。而人们的生计多样性指数越大,系统恢复力就越高(图3d)。由此看出,单一旅游业经济是脆弱的,应大力加强旅游产业化发展,减少单一系统要素的不稳定,增加外界干扰的抗御能力,进而增加整个系统的恢复力。

5.1.3 社会子系统脆弱性 社会子系统脆弱性涉及社会稳定和社会福利两大类。社会稳定中,外来人口比例和社会犯罪率均与恢复力呈现出明显的线性负相关关系, R^2 分别为0.6003、0.876,也就是说外来人口的增加和社会犯罪率的上升会直接引起恢复力的下降。相比较而言,社会犯罪率对恢复力的负影响更大。旅游者与当地居民比与恢复力呈现出非线性正向关系,与旅游收入、旅游人数同步,在系统恢复力较低的情境下,旅游人数与居民的提高会大大促进系统由低恢复力向高恢复力进化,而当比例增长到一定程度时,对恢复力的促进作用明显减慢(图3e)。

社会福利中,人均居住面积、交通、教育、社会消费品均与恢复力呈现出明显的非线性正向关系。其中,与教育拟合曲线呈正U型,教育普及对提高系统恢复力具有持续促进作用。人均居住面积、交通、社会消费品在系统恢复力低中期,对恢复力的提高具有巨大作用,随后进入边际效益递减期(图3f)。

5.2 应对能力影响因子与恢复力关联分析

5.2.1 生态子系统应对能力 生态子系统应对能力涉及生态投资和生态治理两大类。生态投资均与恢复力指数呈现出非线性正向关系,在恢复力较低的情境下,污染源治理投资额和节能环保支出的增加会迅速提高总恢复力。但当恢复力发展到高级阶段时,其生态治理投资效益明显下降(图4a)。

生态治理的3项因素——三同时执行合格率、生活污水处理率、生活垃圾无害化处理率均与恢复力呈现出明显的线性正相关关系, R^2 分别为0.585、0.9665、0.9109(图4b)。说明从源头上采取的生态处理措施会大大有利于恢复力的提高。进一步对三者与恢复力进行回归方程分析,发现生活污水处理率对恢复力的影响最大,主要生活污水处理的达标与否对千岛湖水质具有重要影响,其次是生活垃圾和三同时执行合格率。对于湖泊型旅游地千岛湖来说,水是旅游地生态子系统最重要的因素,保护水源是生态处理措施的重中之重,对系统恢复力起着直接促进作用。

5.2.2 经济子系统应对能力 经济子系统应对能力涉及经济收入和经济投资两大类。两大因子均与恢复力指数呈现出非线性正相关关系,且曲线较为相似。说明在恢复力较低的情况下,经济收入的提高和经济投资的加大,会提高整个社会—生态系统应对能力,进而促进系统恢复力的提高。但与生态投资相似,随着系统恢复力向高阶段迈进时,应对能力作用开始减弱,出现曲线拐点,恢复力呈现缓慢下降趋势(图4c,图4d)。

5.2.3 社会子系统应对能力 社会子系统应对能力涉及社会支出和社会存储两大类。与经济子系统应对能力相似,两大因子均与恢复力指数呈现出非线性正向相关关系,且曲线较为相似,均为倒U型(图4e,图4f)。实际上,应对能力的各因素也是相互关联的,经济收入的增加必然会促进地方财政支出增加,而财政支出增加必然要首先加大在教育、社会保障和就业、医疗等民生方面的支出;同时,经济收入增加又必然会促进社会存储增加,提高系统应急和风险抗御能力。这些指标在恢复力较低的情境下,可以迅速提高系统恢复力,而当恢复力水平较高时,各应对能力的发挥也具有一定的局限性。

5.3 旅游地社会—生态系统恢复力影响机理分析

5.3.1 影响机理 通过前文分析可知,旅游地社会—生态系统恢复力可通过社会、经济、生态三个子系统的脆弱性和应对能力进行测度。其中,系统脆弱性中,生态子系统脆弱性影响最大;系统应对能力中,经济子系统应对能力影响最大,恢复力是脆弱性和应对能力相互作用的结果,对于不断变化的旅游地社会—生态系统来说,应对能力的加强是提高系统恢复力的关键。旅游地社会—生态系统脆弱性要素主要由社会、经济、生态子系统的本底要素和旅游发展所带来的相关变化要素构成,应对能力主要由各子系统的投入与存储构成,影响性质有正负向之分,影响方式有线性和非线性之分。只有在一个富

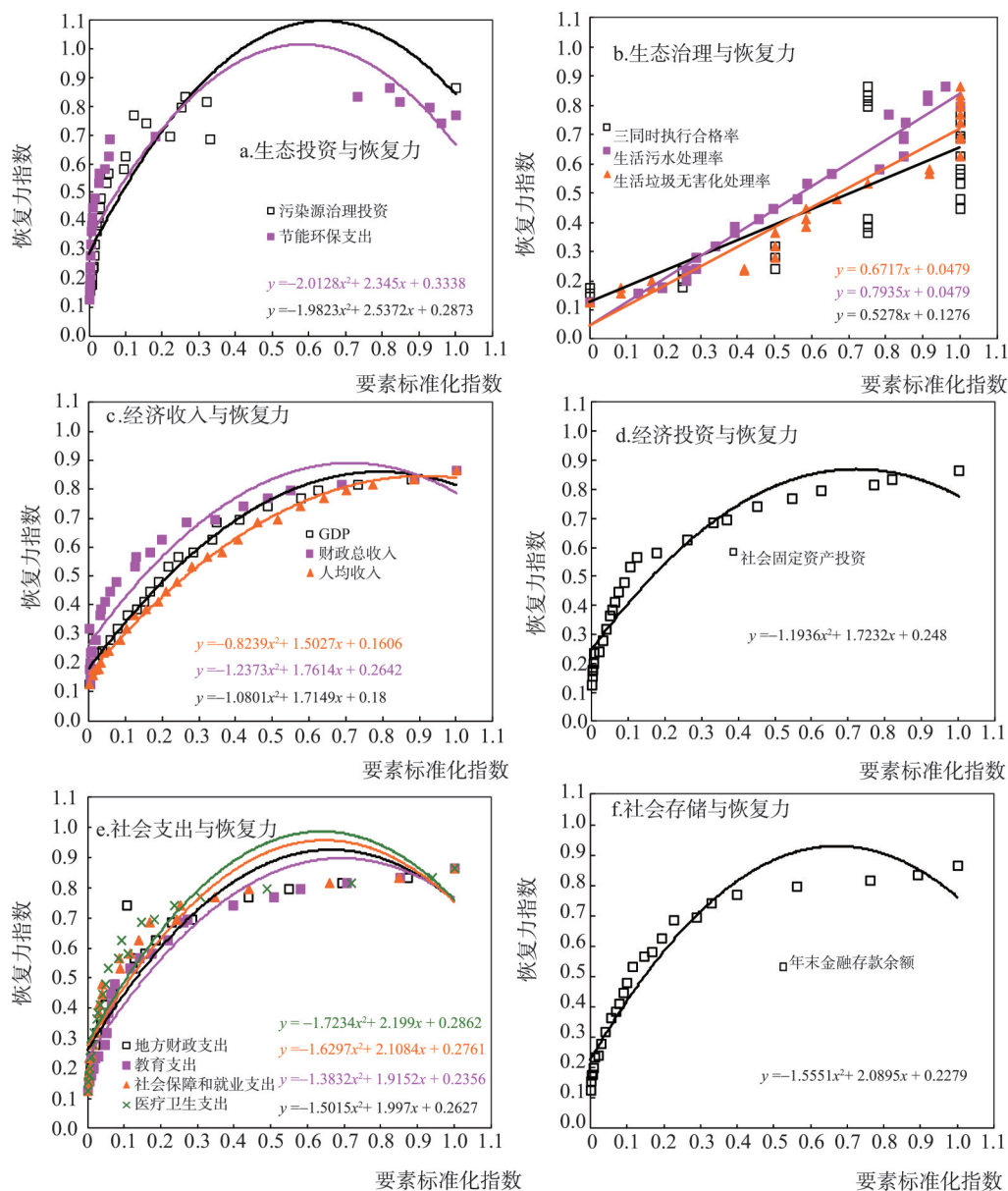


图4 千岛湖社会—生态系统应对能力与恢复力关联分析(1987-2012年)

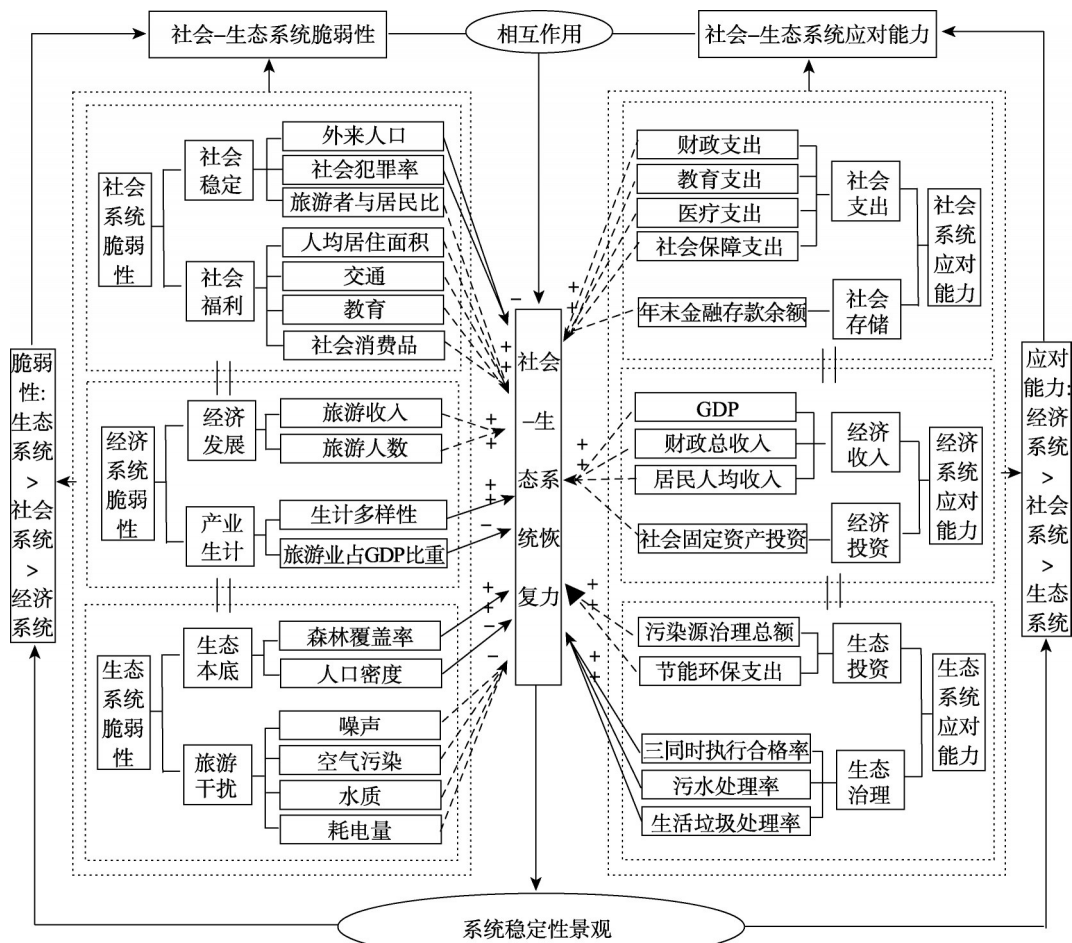
Fig. 4 The correlation analysis on socio-ecological system response capacity and resilience in Qiandao Lake (1987-2012)

有恢复力的系统内,才能维持系统稳定性景观,从而促进系统向更健康的方向发展。据此,构建旅游地社会—生态系统恢复力影响机理框架(图5)。

5.3.2 影响曲线与规律 从脆弱性和应对能力因子与恢复力影响关联分析,可以得出旅游地社会—生态系统影响因子与恢复力之间大致呈现两种影响方式六种曲线类型,曲线类型不同,影响的性质、速率和规律不同(图6)。

(1) 线性影响:线性递增和线性递减曲线

与恢复力呈现线性关系的主要有生态本底条件、社会稳定、产业生计和生态治理措施,这些因子都是社会、经济、生态子系统中最基本的要素,影响关系可分为线性递增



注: -->非线性影响 ->线性影响 + 正向影响 - 负向影响

图5 千岛湖旅游地社会—生态系统恢复力影响机理

Fig. 5 Impact mechanism of resilience of tourism socio-ecological system in Qiandao Lake

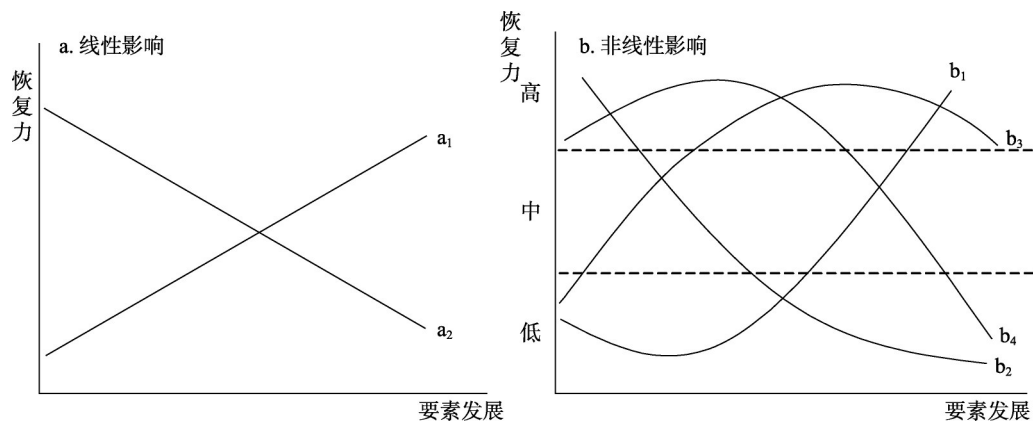


图6 千岛湖旅游地社会—生态系统恢复力因子影响曲线

Fig. 6 Impact curves of resilience of tourism socio-ecological system in Qiandao Lake

(a_1) 和线性递减 (a_2) 两种类型。其中, 正向影响因子与恢复力呈现线性递增关系, 如森林覆盖率、生计多样性、三同时执行合格率、生活污水处理率、生活垃圾无害化处理率, 这些因子值的不断增大对恢复力的提高起着直接作用。负向影响因子与恢复力呈现线性递减关系, 主要涉及到社会稳定中的外来人口和社会犯罪率、产业生计中的旅游占 GDP 比重, 外来人口的不断增加、社会犯罪率的不断提高会影响社会稳定性, 旅游占 GDP 比重的加大会进一步加大单一经济的脆弱性, 进而对旅游地恢复力降低有着直接影响。

(2) 非线性影响: U型/倒U型递增和递减曲线

与恢复力指数呈现U型曲线关系的指标相对较少, 主要涉及社会子系统中的教育和生态子系统噪声, 可分为U型递增 (b_1) 和U型递减 (b_2) 两种类型。恢复力不同阶段, 影响速率不尽相同。当恢复力较低时, 基础教育的改善对恢复力的作用并不大, 但随着教育的逐步提高, 系统适应和学习能力会越来越强, 进而有效地促进恢复力的提高。当恢复力较高时, 噪声的增大会迅速降低恢复力, 但到了恢复力低级阶段, 其影响相对变得缓慢。

与恢复力呈现倒U型曲线关系的主要涉及脆弱性指标中的社会福利、旅游经济发展、旅游活动干扰产生的环境变化以及社会、经济系统应对能力和生态系统应对能力中的生态投资, 可分为倒U型先快速上升后缓慢下降 (b_3) 和倒U型先缓慢上升后快速下降 (b_4)。其中, 正向影响因子在恢复力中低阶段, 其稳步发展可逐步提高恢复力, 但当恢复力发展到高级阶段时, 其对恢复力的提高却具有明显的抑制作用, 尤其对于应对能力来说, 更为明显, 充分说明人类主观能动性的发挥应尊重旅游地社会—生态系统的自然发展规律。负向影响因子主要涉及生态系统中旅游活动干扰导致的环境变化, 如空气污染、耗电量、水质营养指数等, 这些因素属于慢变量, 在起初刚恶化时尚不对恢复力产生较大的影响, 在系统其它有利因素发展的情况下尚不能改变恢复力提高的趋势, 但当这些因素进一步恶化时, 会对恢复力产生质的影响, 大大降低系统恢复力。

总体上, 就影响性质来说, 旅游地社会—生态系统恢复力的负向影响主要集中在旅游业对生态环境造成的破坏、对经济发展造成的依赖性、对社会造成的部分不良影响等。就影响方式来说, 线性影响主要集中在社会稳定性、产业生计、生态本底及生态处理措施等子系统最本底的要素上, 非线性影响主要集中在旅游发展所带来的生态、经济及社会变化因素及应对能力要素上, 且各要素在恢复力低中高阶段的影响速率各不相同。系统要素主要以非线性影响为主, 这也从另一方面印证了陆林 (2010) 以耗散结构理论为基础, 提出旅游地系统要素的非线性作用是其演化动力的结论^[41]。

6 结论与讨论

6.1 结论

(1) 1987-2012年间其社会—生态系统脆弱性指数呈缓慢上升趋势, 应对能力指数呈快速上升趋势, 恢复力指数呈稳步上升趋势。虽然脆弱性与恢复力具有一体两面性, 但脆弱性的反面不能完全代表恢复力。系统自身具有一定的抗性和恢复力, 即使在非常脆弱的情况下, 系统仍具有一定的自我调节、自我保护、自我恢复能力。而当系统脆弱性呈现微弱增加时, 在应对能力不断强大的作用下, 又改变不了系统总恢复力提高的趋势。恢复力应是脆弱性与应对能力相互作用的结果。千岛湖旅游地发展具有稳步性, 但也应注意旅游需大力带动相关产业化发展, 防止单一经济系统过度支配而带来脆弱性的增加。

(2) 系统总恢复力逐年提升是3个子系统共同作用的结果。从总系统与子系统关系来看,总系统脆弱性受生态子系统脆弱性影响最大,应对能力受经济子系统应对能力影响最大,总恢复力受社会和经济子系统恢复力影响较大。从总脆弱性、总应对能力和总恢复力相关性来看,总应对能力对恢复力起着决定性作用,其中社会和经济系统应对能力作用更加突出。

(3) 构建基于稳定性景观的旅游地社会—生态系统恢复力测度和影响机理框架。各子系统恢复力要素在脆弱性和应对能力方面均可分为两大亚类,脆弱性主要由社会、经济、生态子系统的本底要素和旅游发展所带来的相关变化要素构成,应对能力主要由各子系统的投入与存储构成,影响性质有正负向之分,影响方式有线性和非线性之分。

(4) 旅游地社会—生态系统影响因子与恢复力之间大致呈现两种影响方式6种曲线类型。与恢复力呈现线性关系的主要涉及社会、经济、生态子系统中最基本的要素,包括生态本底条件、社会稳定、产业生计和生态治理措施等,可分为线性递增和线性递减两种类型。与恢复力呈现U型或倒U型曲线关系的主要涉及脆弱性指标中旅游发展所带来的变化及应对能力指标,可分为U型递增和U型递减、倒U型先快速上升后缓慢下降和倒U型先缓慢上升后快速下降4种类型。总体上以非线性影响为主,且各因子影响的方向、速率具有差异性和不确定性,这更印证了恢复力非线性思想和集对分析非线性方法测度的适用性。

6.2 讨论

以下问题仍值得进一步商榷和讨论:

(1) 不同阶段恢复力影响因素比较。论文试图分2~3个阶段对千岛湖26年间恢复力的影响因素重要性进行阶段比较,但是比较结果差异性不是很明显。从千岛湖旅游发展现状来看,26年仍是社会—生态系统中一个相对短暂的阶段,影响因素的区别可能需要更长的时间来进行区分。

(2) 本文是在闭合的区间段,通过集对分析进行多属性评价,其恢复力测度结果具有相对性。不同的时间跨度,恢复力测度值不同。若截取1998-2012年15年间的恢复力进行测度,发现1998年恢复力值约为0.28,2012年约为0.65,对比26年间测度的结果,1998年约为0.41,2012年约为0.87,说明时间间隔的长短,决定了某年度值的相对性。也就是说,从历史角度来看,旅游地社会—生态系统发展阶段及恢复力都具有相对性。

(3) 本文仅是从时间和客体角度对千岛湖进行恢复力测度。恢复力的空间分异测度也具有重要意义,可尝试对千岛湖所在的杭州都市圈下的各旅游地社会—生态系统恢复力进行分别测度对比,探索在杭州都市圈外部扰沌下各旅游地社会—生态系统及恢复力发展的差异性。同时,可进一步尝试从主体角度,对千岛湖旅游地社会—生态系统的治理结构、利益主体感知进行测度,探索其系统适应和学习能力。

(4) 旅游地社会—生态系统的阈值确定具有巨大的难度。因为旅游地是一个更为复杂的社会—生态系统,系统要素具有分散性,每一个指标分别展示每一个可持续因素的形势,反映了每个维度的变化,但改变不总是发生在同一个方向或同一个时间^[42]。因此,阈值替代物的选取某种程度上不太现实。可进一步尝试对旅游地社会—生态系统恢复力的各影响要素进行性质划分和重要性排序,从而更好地判断系统的适应力和转化力。

参考文献(References)

- [1] Dernbach J C. Sustainable development: Now more than ever. *ELR News & Analysis*. 2002, (1): 32.
- [2] Berkes F, Colding J, Folke C. *Navigating Social-ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003: 1-29.

- [3] Holling C S. Understanding the complexity of economic, ecological and social systems. *Ecosystems*, 2001, 6(4): 390-405.
- [4] Folke C, Carpenter S, Elmqvist T, et al. Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformations. Scientific Background Paper on Resilience for the process of the World Summit on Sustainable Development on behalf of The Environmental Advisory Council to the Swedish Government, 2002.
- [5] Holling C S, Gunderson L H. Resilience and adaptive cycles//Gunderson L H, Holling C S. *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Washington, DC: Island Press, 2002: 25-62.
- [6] Chen Yaling. Tourism socio-ecological systems vulnerability assessment and adaptive management countermeasures research in Shaanxi Qinling Mountains region [D]. Xi'an: Northwest University, 2013. [陈娅玲. 陕西秦岭地区旅游社会-生态系统脆弱性评价及适应性管理对策研究[D]. 西安: 西北大学, 2013.]
- [7] Wang Jun, Sun Jing, Yang Xinjun, et al. An analysis of disturbance on social-ecological system at multiple scales based on NDVI, case study in Yuzhong county of Gansu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1622-1628. [王俊, 孙晶, 杨新军, 等. 基于NDVI的社会-生态系统多尺度干扰分析: 以甘肃省榆中县为例. *生态学报*, 2009, 29(3): 1622-1628.]
- [8] Yu Zhongyuan, Li Bo, Zhang Xinshi. Social ecological system and vulnerability driving mechanism analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(7): 1870-1879. [余中元, 李波, 张新时. 社会生态系统及脆弱性驱动机制分析. *生态学报*, 2014, 34(7): 1870-1879.]
- [9] Wang Xingyu, Wang Jun, Bai Hongying, et al. Social ecosystem based on peasant household versus drought resilience: A case study in Yuzhong county of Gansu province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(1): 14-18. [汪兴玉, 王俊, 白红英, 等. 基于农户尺度的社会—生态系统对干旱的恢复力研究: 以甘肃省榆中县为例. *水土保持通报*, 2008, 28(1): 14-18.]
- [10] Yan Haiming, Zhan Jinyan, Zhang Tao. Review of ecosystem resilience research progress. *Progress in Geography*, 2012, 31(3): 303-314. [闫海明, 战金艳, 张韬. 生态系统恢复力研究进展综述. *地理科学进展*, 2012, 31(3): 303-314.]
- [11] Wang Qun, Lu Lin, Yang Xingzhu. Research progress and enlightenment of tourism socio-ecological system resilience in foreign countries. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(5): 894-908. [王群, 陆林, 杨兴柱. 国外旅游地社会-生态系统恢复力研究进展与启示. *自然资源学报*, 2014, 29(5): 894-908.]
- [12] Yu Zhonglei, Yang Xinjun, Yang Tao. Exploring conditions, determinants and mechanisms of rural households' adaptability to tourism development: A case study of Jinsixia in Qinling Mountains. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(8): 1143-1156. [喻忠磊, 杨新军, 杨涛. 乡村农户适应旅游发展的模式及影响机制: 以秦岭金丝峡景区为例, 2013, 68(8): 1143-1156.]
- [13] Esteban R B. Social-ecological resilience and community-based tourism: An approach from Agua Blanca, Ecuador. *Tourism Management*, 2011, 32(3): 655-666.
- [14] Colin Arrowsmith, Robert Inbakaran. Estimating environmental resiliency for the Grampians National Park, Victoria, Australia: A quantitative approach. *Tourism Management*, 2002, 23(3): 295-309.
- [15] Petrosillo I, Cataldi M, Zurlini G. Fragility estimates of seasonal tourism-based socio-ecological systems//Petrosillo I, Zurlini G, Kepner W, et al. *Landscape Assessment and Quality of Life*. Kiel: Kiel University Press, 2005: 107-121.
- [16] Casagrandi R, Rinaldi S. A theoretical approach to tourism sustainability. *Conservation Ecology*, 2002, 6(1): 13.
- [17] Lacitignola D, Petrosillo I, Cataldi M, et al. Modelling socio-ecological tourism-based systems for sustainability. *Ecological Modelling*, 2007, 206(1/2): 191-204.
- [18] Tyrrell T J, Johnston R J. Tourism sustainability, resiliency and dynamics: Towards a more comprehensive perspective. *Tourism and Hospitality Research*, 2008, 8(1): 14-24.
- [19] Strickland-Munro J K, Allison H E, Moore S A. Using resilience concepts to investigate the impacts of protected area tourism on communities. *Annals of Tourism Research*, 2010, 37(2): 499-519.
- [20] Emma Calgaro, Cochrane J. Comparative destination vulnerability assessment for Thailand and Sri Lanka. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2009.
- [21] Zurlini G., Amadio V, Rossi O. A landscape approach to biodiversity and biological health planning: The map of Italian nature. *Ecosyst Health*, 1999, 5: 296-311.
- [22] Folke C, Carpenter S, Elmqvist T, et al. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio*, 2002, 31(5): 437-440.
- [23] Nilsson C N, Grelsson G. The fragility of ecosystems: A review. *Journal of Applied Ecology*, 1995, 32, 677-692.
- [24] Buckle P, Graham M, Smale S. Assessing resilience and vulnerability: Principles, strategies and actions. *Emergency*

- Management Australia, Department of Defence Project, 2000, 15.
- [25] Sun Jing, Wang Jun, Yang XinJun. An overview on the resilience of social-ecological systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5371-5381. [孙晶, 王俊, 杨新军. 社会-生态系统恢复力研究综述. *生态学报*, 2007, 27(12): 5371-5381.]
- [26] Cumming G S, Barnes G, Perz S, et al. An exploratory framework for the empirical measurement of resilience. *Ecosystems*, 2005, 8(2): 975-987.
- [27] Beisner B E, Haydon D T, Cuddington K. Alternative stable states in ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2003, 1(7): 376-382.
- [28] Petrosillo I, Zurlini G, Grato E, et al. Indicating fragility of socio-ecological tourism-based systems. *Ecological Indicators*, 2006, 6(1): 104-113.
- [29] Walker B, Salt D. *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*. London: Island Press, 2006.
- [30] Smith M S, Moran M, Seeman K. The 'viability' and resilience of communities and settlements in desert Australia. *Rangeland Journal*, 2008, 30(1): 123-135.
- [31] Holladay P. An integrated approach to assessing the resilience and sustainability of community based tourism development in the commonwealth of Dominica [D]. Clemson University, 2011.
- [32] Zhao Keqin. Set Pair Analysis and its Preliminary Application. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2000: 8-21. [赵克勤. 集对分析及其初步应用. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000: 8-21.]
- [33] Su Meirong, Yang Zhifeng, Wang Hongrui, et al. A kind of method and its application for urban ecosystem health assessment. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(12): 2072-2080. [苏美蓉, 杨志峰, 王宏瑞, 等. 一种城市生态系统健康评价方法及其应用. *环境科学学报*, 2006, 26(12): 2072-2080.]
- [34] Su Fei, Zhang Pingyu. Vulnerability assessment of petroleum city's economic system based on set pair analysis: A case study of Daqing city. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(4): 454-464. [苏飞, 张平宇. 基于集对分析的大庆市经济系统脆弱性评价. *地理学报*, 2010, 65(4): 454-464.]
- [35] Wang Wensheng. Set Pair Analysis of Water Resources and Hydrology. Beijing: Science Press, 2010: 21-33. [王文圣等. 水文水资源集对分析. 北京: 科学出版社, 2010: 21-33.]
- [36] Wang Qun, Lu Lin, Yang Xingzhu. Security assessment of water resources system for mountain resorts based on set pair analysis: A case study of Huangshan. *Geographical Research*, 2014, 33(6): 1059-1072. [王群, 陆林, 杨兴柱. 山岳型旅游地水资源系统安全评价: 以黄山风景区为例. *地理研究*, 2014, 33(6): 1059-1072.]
- [37] Wang Mingquan, Wang Jinda, Liu Jingshuang. Evolution of ecological carrying capacity of western Jilin province via set pair analysis and principal component analysis. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(4): 795-799. [王明全, 王金达, 刘景双. 基于集对分析和主成分分析的吉林西部生态承载力演变研究. *中国生态农业学报*, 2009, 17(4): 795-799.]
- [38] Chen Mingxing, Lu Dadao, Zhang Hua. Comprehensive evaluation and driving factors of china's urbanization. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(4): 387-398. [陈明星, 陆大道, 张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析. *地理学报*, 2009, 64(4): 387-398.]
- [39] Su Fei, Zhang Pingyu, Li He. Vulnerability assessment of coal-mining cities' economic systems in China. *Geographical Research*, 2008, 27(4): 907-916. [苏飞, 张平宇, 李鹤. 中国煤矿城市经济系统脆弱性评价. *地理研究*, 2008, 27(4): 907-916.]
- [40] Folke C. Social-ecological resilience and behavioral responses//Biel A, Hansson B, Mårtensson M. *Individual and Structural Determinants of Environmental Practice*. London: Ashgate Publishers, 2003: 226-287.
- [41] Lu Lin, Bao Jie. The course and mechanism of evolution about Qiandao Lake based on the theory of dissipative structure. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(6): 755-768. [陆林, 鲍捷. 基于耗散结构理论的千岛湖旅游地演化过程及机制. *地理学报*, 2010, 65(6): 755-768.]
- [42] Blancas F J, Caballero R, González M, et al. Goal programming synthetic indicators: An application for sustainable tourism in Andalusian coastal counties. *Ecological Economics*, 2010, 69(11): 2158-2172.

Study on measurement and impact mechanism of socio-ecological system resilience in Qiandao Lake

WANG Qun, LU Lin, YANG Xingzhu

(Research Center of Tourism Planning and Development, College of National Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241002, Anhui, China)

Abstract: The primary goal of this study is to build a resilience evaluation system with stability landscape based on the theory of basin model which reflects the characteristics of resilience. The study proposes the socio-ecological system resilience indicators of tourist destination, including the fragility, and response capacity in social, economic and ecological subsystems. In particular, by adopting the set pair analysis, the paper empirically measures the socio-ecological system resilience, identifies the main factors influencing resilience, and illustrates the mechanism that influences the tourism socio-ecological system. In addition, the paper introduces curve distribution patterns of Qiandao Lake. The results are as follows: (1) During the period 1987-2012, the socio-ecological system fragility index in the Qiandao Lake slowly increased from 0.4576 to 0.5622, the index of adaptive capacity rose rapidly from 0.0282 to 0.9725, and the resilience index rose steadily from 0.1276 to 0.8669. The resilience should be the result of the interaction between fragility and response capability. (2) The total fragility is mostly affected by the ecological subsystem, whereas the total response capacity, by the economic subsystem. The social and economic subsystems, however, directly affect the total resilience. As a matter of fact, the total response capacity plays a decisive role in resilience, in which response capacity of social and economic subsystems are more significant, although the system itself also has certain resistance and resilience. (3) In each subsystem, the resilience factors are divided into two categories respectively with regard to the fragility and response capacity. The fragility consists of the base elements of the subsystems and the relevant variables brought about by tourism development. The response capacity mainly includes the input and storage factors in every subsystem. (4) In the socio-ecological system of tourist destination, the relationship between the impact factors and the resilience falls into roughly six curve types. On the one hand, there are two types of linear relationships between the resilience and ecological background conditions, social stability, industrial livelihood and ecological control measures. The one is in the trend of progressive increase and the other, of progressive decrease. On the other hand, U-shaped curves or inverted U-shaped curves, are mainly related to fragility indexes and response capacity indexes brought by tourism development. In terms of impact direction, rates and ways, the influence curve of resilience factors can be divided into four types, namely U-shaped increasing curve, U-shaped decreasing curve, inverted U-shaped curve which increases fast at first and then decreases slowly, and inverted U-shaped curve which increases slowly at first and then decreases fast. In conclusion, nonlinear effects still dominate. There are differences and uncertainty in the direction and rate of the factors. The results, in fact, further confirm the nonlinear thought of resilience and the applicability of the set pair analysis method.

Keywords: tourism socio-ecological system; resilience; impact factors; Qiandao Lake