

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

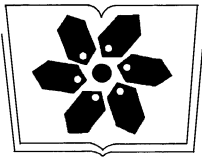
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期
Vol.30 No.21
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 21 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应·····	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势·····	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性·····	曾 军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康·····	裴雪姣,牛翠娟,高 欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系·····	张慧文,马剑英,孙 伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果·····	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子·····	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应·····	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局·····	卢训令,胡 楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响 ·····	陈宗瑜,钟 楚,王 毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化 ·····	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系·····	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征·····	柏方敏,田大伦,方 晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响·····	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征·····	刘 克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较·····	朱光玉,吕 勇,林 辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局·····	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例 ·····	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析 ·····	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价 ·····	高 杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较 ·····	张小飞,王如松,李 锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估 ·····	王 萱,陈伟琪,张璐平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响 ·····	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响·····	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较·····	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响·····	李 影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化 ·····	安宗胜,詹 婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响 ·····	韩永强,刘 川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响·····	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
专论与综述	
河流水质的景观组分阈值研究进展 ·····	刘珍环,李 猷,彭 建 (5983)
研究简报	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响 ·····	杨 兵,王进闯,张远彬 (5994)
环境因素对长额斗蟋翅型分化的影响 ·····	曾 杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较

张小飞^{1,2}, 王如松¹, 李 锋^{1,*}, 李正国³, 宋治清¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 北京大学深圳研究生院, 深圳 518055;
3. 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室, 北京 100081)

摘要:城市是一类社会-经济-自然复合生态系统, 辨识其复杂的功能特征, 需要一套科学的评价指标体系。选择北京、上海、深圳、广州、宁波、温州、天津、厦门、大连、无锡及台北、高雄、新竹、台南、台中、基隆 16 个中国大陆东部沿海与中国台湾岛西部沿海典型城市为研究区, 结合城市生态系统理论、国家生态市建设指标、国内外生态城市评价指标及两岸沿海城市特色指标, 构建两岸沿海典型城市生态系统功能评价指标体系, 评价其社会、经济、自然子系统各自的功能及其协调发展程度。在自然子系统方面, 由生态空间为基础, 通过量化其提供的服务与自身代谢能力, 说明自然子系统功能; 社会子系统则通过其自身基本的人口承载能力、安全保障相关的社会稳定性及城市文化延续性进行判断; 经济子系统功能需涉及当前的状态与未来的发展潜力, 在此分别由生活富裕度与产业竞争力两方面进行探讨。基于 3 个子系统标准化后的数值构建协调系数, 借以量化子系统间的协调发展情况。研究结果表明, 由于台湾地区城市发展阶段相对超前, 演化过程也相对成熟, 于社会、经济子系统及整体功能上都有较高的功能值。依据本研究现有数据分析结果, 16 个典型城市中, 单就各个子系统功能得分, 自然子系统功能以台湾地区基隆市及大陆地区温州市较佳, 社会子系统以台湾地区台北市及大陆地区厦门市较佳, 经济子系统以台湾地区台北市及大陆地区北京市较佳。由于子系统间的协调发展有助于城市生态系统整体功能的提升, 因此, 台湾地区的基隆市及大陆地区上海市在社会、经济及环境保护的协调发展上亦有另一方面的借鉴意义。

关键词:城市生态系统; 功能评价; 海峡两岸; 沿海城市

An integrated assessment and comparison of urban ecosystem functions for sixteen coastal cities in Chinese mainland and Taiwan

CHANG Hsiao-fei^{1,2}, WANG Rusong¹, LI Feng^{1,*}, LI Zhengguo³, SONG Zhiqing¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Graduate School of Shenzhen, Peking University, Shenzhen 518055, China

3 Key Laboratory of Resources Remote Sensing and Digital Agriculture, Ministry of Agriculture (MOA), Beijing 100081, China

Abstract: An urban ecosystem is the complex and over-arching system that combines social, economic, and natural subsystems, each having special problems of supply and waste discharge into and out of the system caused by various sources. To understand the complexity of urban ecosystem functions, a series of indicators is needed for an integrated assessment and comparison. Usually, a healthy urban ecosystem in proper working order shows the following characteristics: a higher environmental efficiency, a stronger economic vitality, and a better quality of life. Each of these factors could be considered the function of an urban ecosystem, especially in relation to sustainable development.

Cities along the eastern coast of Chinese mainland and western coast of China Taiwan are similar because of relatively high development level, which have more attraction and influence for regional population and industry. Due to the differences in natural background conditions and development orientation, there are also some specific problems existing in the urban development of Chinese mainland and Taiwan. For a long time, urban development in Taiwan has been heavily

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40635028;40601001;70803050);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-324,422);中国科学院王宽诚博士后工作奖励基金

收稿日期:2009-10-14; 修订日期:2009-12-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lifeng@rcees.ac.cn

affected by physical restriction, especially geological and meteorological disaster as well as sea levels rise; in relative terms, cities in mainland China have been beset with more problems from various environmental pollution and degradation. Since sustainable urban development is required to complement the advantages and learn each other's experience, comparison on urban ecosystem functions among the typical coastal cities could provide policy makers the reference for planning urban development in the future.

In this research, focusing on sixteen cities in the coastal areas of Chinese mainland and Taiwan, we developed an indicator scheme for integrated assessment of urban ecosystem functions. The indicator scheme was established based on urban ecological principles, urban development sustainability models, and eco-city assessment indicators. This scheme quantified and measured environment services, metabolic capability, social carrying capacity, social stability, cultural sustainability, opulence levels, and industrial competition. In addition, some alternative index, such as area and population, were used to improve data comparability for adapting different statistical standards. Finally, this scheme was applied to compare on levels of social well-being and social conflicts, economic potential and competition, and environmental sustainability (environmental degradation and resource deprivation).

The results from the analysis suggested that cities in Taiwan have higher values in social and economic subsystems than cities in Chinese mainland, due to the relatively well-developed urban management system in China Taiwan. It also appeared that Keelung and Shanghai city have both reached a stage of well-balanced development in terms of social, economic, and environmental functions, which could serve as models for urban development in other coastal cities. Further comparison also provides insight into social well-being, economic potential, and environmental problems using each indicator subsystem; for example, Keelung and Wenzhou show higher value in the natural indicator subsystem, whereas Taipei and Xiamen are high in the social indicator subsystem, and Taipei and Beijing possess more development in the economic indicator subsystem. Based on the assessment and comparisons above, suggestions for the future optimization of urban ecosystems were provided for city managers and decision-makers.

Key Words: urban system; urban function assessment; Chinese mainland and Taiwan; coastal cities

城市、区域、国家或人类整体究竟是可持续或不可持续^[1-2],乃至城市格局的理想组成与结构,至今都无明确的结论,因此研究者通过不同的角度对城市的发展现状、生态系统特征^[3]、生态城市标准^[4]进行评价,以解决目前的城市问题,修正城市发展方向。当前两岸的城市发展同样面临外部环境的约束与自身条件的限制,其中全球化的市场竞争、气候变化的影响、社会关系的不和谐与资源的匮乏是两岸城市共同面临的问题,另外台湾的城市受自然灾害的影响相对较大,而大陆地区的城市则面临相对较严峻的环境保护问题。

城市生态系统功能评价的目的是基于复合生态系统理念,探讨城市对当前外部环境的适应能力与内部系统间的协调性,判断不同城市的发展状态与理想的生态功能间的差距。通过对大陆地区与台湾地区典型城市生态系统功能的比较,有助于为城市生态系统功能优化寻找合适的调控方法。参照 2006 年《城市竞争力蓝皮书:中国城市竞争力报告》^[5]可知,从城市综合竞争力角度来看目前城市发展现状,由强到弱依次是港澳台、东部沿海、中部、东北、西部。基于上述报告,本研究选择两岸具有较高综合竞争力的北京、上海、深圳、广州、宁波、温州、天津、厦门、大连、无锡及台北、高雄、新竹、台南、台中、基隆等大陆东部沿海与台湾岛西部沿海主要城市,说明其城市功能概况与差异。

1 城市生态系统功能

城市是一类以人类活动为主导的社会-经济-自然复合生态系统,通过人与环境关系的开拓、适应、回馈和整合过程不断检讨、调整,达到最佳的发展型态^[6-8],其系统的整体功能是由子系统内部及其间相互作用、物质、能量和信息流动所产生,对系统内部起到维系稳定的作用,并对系统外部产生正面和负面影响。无论于全球或区域尺度,城市朝向巨型、蔓延式发展皆面临由于空间有限与人口高密度集中所带来的拥挤与污染等问

题^[9];科技的发展缩短了空间距离,未来的城市需要更明确、更多元的职能定位与更为完善的社会、经济与环境功能保障。

城市功能可归类为环境、经济发展、社会安全与福利、文化等层面。其中,环境功能涉及生态服务与环境质量两类,目前评价多以环境质量的优劣为主;经济发展功能可通过实际的经济效益进行分析,另有依据商业投资环境、技术、空间等指标说明城市当前与未来经济发展潜力;社会安全与文化则包括治安、医疗、地方居民的教育程度与文化建设等。

除上述功能,面对当前全球化的市场竞争、气候变化的影响、社会关系的不和谐、资源的匮乏、自然灾害限制与环境保护等当前城市发展面临的问题,城市系统也比须具备相应的处理与适应能力。首先,产业结构必须健全,产品具有市场竞争力,足以适应全球化的经济环境;节能减碳,降低温室气体排放,减少对大气环境的影响,针对海平面上升所产生的问题,仅早构建监测系统、订定应急处理预案;提高公众参与的比例,完善社会保障体系,维护社会与经济系统的公平性,避免少数利益团体利用宗教、政治方法,破坏城市稳定;节约能源,提高资源利用效益,同时开发新能源,降低对特定能源的依赖;严格控制污染源,实时监测,并保护环境质量。

2 研究方法

本研究提出一套衡量城市生态系统功能的指标体系,将两岸城市发展的态势进行量化,藉以检视城市环境、社会、经济发展面向的现况。在具体操作上,由于两岸城市统计口径的差异,部分指标分别采用两岸城市相近的替代指标进行比较,以说明城市间的差异。另外,由于两岸城市具有人口、面积等规模差异,因此为使得城市间更具有可比性,在操作上皆选取2006年地均或人均指标,通过人口、用地进行调节,最终获得两岸城市生态系统功能评价操作指标。其中,土地数据来自各城市国土部门信息公开网页土地变更调查统计及台湾行政院经济建设委员会^[10],统计数据来自国家统计局城市社会经济调查司^[11]及台湾行政院经济建设委员会^[10],大陆地区常住人口数据及恩格尔系数来自国家、各省及市统计网页或相关新闻网页,温州市及大连市2006年常住人口数据以2007年替代。

2.1 评价指标选取原则

指标是一种可归纳特定现象或事物相关信息的度量工具^[12]。

(1)综合性原则,城市生态系统功能评价是基于复合生态系统原理对城市所作的综合评价,要全面考虑城市经济、社会与环境三方面的功能,并选择适当的方法对众多因素加以有效的整合,得到城市生态功能的客观评价。

(2)区域性特定原则,城市生态系统功能评价是针对特定区域、特定生态系统进行的评价。本评价是在遵从复合生态系统原理的基础上,针对沿海地区城市发展现状所构建的,目标是区分沿海主要城市生态功能差异,在其它区域需进行调整。

(3)兼顾科学性和可操作性。指标的选择应以成熟的科学理论为依据,各类指标在反映城市生态系统功能的目标上有明确的含义,数据来源可靠,处理方法科学,指标量化与标准化规范,指标权重的确定合理,综合评价客观全面。

城市生态系统功能评价,具有生态系统评价的共性,需要遵循上文探讨的各种一般性原则、依据,与此同时,还需要强调与城市生态系统特征相关的特殊性。选择评价城市指标时,主要有两方面的考虑:(1)与评价方法有关,包括生态系统调查的手段、数据来源和资料获取方式等;(2)与5个关键因素有关:时空尺度、指标的意义和科学依据、指标的代表性、可操作性、政策制定者和公众对指标的接受程度。

2.2 评价指标标准化

在城市生态系统功能评价中,评价指标因为含义和计算方法不同,其取值范围也相差很大,往往不具有直接可比性。在综合评价的过程中,为了使相关数据转换成可以统一比较的数值,需要对原始数据进行标准化处理,消除量纲,本文采取标准化方法得到值域为 $[0,1]$ 并且极性一致的数值。一般情况下,评价指标取值与

评价对象之间存在 3 种关系:一是正向型关系,即指标取值越大表明城市生态系统功能越好;二是逆向型关系,即评价指标取值越大表明城市生态系统功能越差;三是适度型关系,即当评价指标为某一适度值时城市生态系统功能最好。针对上述情况,指标标准化处理公式分别为:

$$f'_i = \begin{cases} f_i/f_{\max} & f_i \text{ 为正向型指标} \\ f_{\min}/f_i & f_i \text{ 为逆向型指标} \\ f/f_i & f_i \text{ 为适度型指标}(f_i \geq f) \\ f_i/f & f_i \text{ 为适度型指标}(f_i < f) \end{cases} \quad (1)$$

式中, f'_i 为指标 f_i 标准化值, f_{\min} 为指标 i 标准化前的最小值, f_{\max} 为指标 i 标准化前的最大值, f 为适度值。

2.3 城市生态系统功能评价体系

由于两岸沿海区域均属城市化相对发达地区,具有人口集中、经济效益高且自然条件优越、气候相对适宜的特性,为进一步区分其内部差异,在指标的选取上,依据城市复合生态系统理论及两岸沿海城市发展现状,通过与两岸相关专家的座谈,在国家生态市建设指标、国内外生态城市评价研究指标的基础上,补充两岸城市特色指标,将 Delphi 法(德尔菲法)和 AHP 法(层次分析法)相结合,计算出指标体系中各指标的权重,并把权重转换为百分制的权数,进而构建两岸沿海典型城市生态系统功能评价指标体系(表 1)。

2.3.1 自然子系统功能评价

自然环境子系统由子系统以生物结构和物理结构为主线,包括植物、动物、微生物、自然景观等,具备气候调节、水调控、控制水土流失、物质循环、污染净化、娱乐、文化等生态服务功能^[13]。由于两岸沿海城市的发展对维系自然子系统功能的生态空间依赖性较大,本研究以生态空间为基础,通过量化其提供的生态服务(ecological services, ES)与自身系统代谢能力(metabolic capability, MC)来量化自然子系统功能(natural subsystem function, NSF),其中生态服务与代谢能力同等重要。

$$NSF = MEAN(ES, MC) \quad (2)$$

生态服务 城市的发展由自然环境获得大量的效益,有鉴于自然子系统功能的存续与其在城市中所占的面积息息相关,本文采用森林覆盖率(forest coverage rate, FCR)、保护区面积比例(conservation area rate, CAR)、人均公共绿地面积(green area per capita, $GAPC$)、自然河段比例(natural riverside rate, NRR)等生态用地比例,同时结合其各自的权重值($W_i, i = FCR, CAR, GAPC, NRR$)共同作为量化生态服务的综合表征。具体计算公式如下:

$$ES = W_{FCR} \cdot FCR + W_{CAR} \cdot CAR + W_{GAPC} \cdot GAPC + W_{NRR} \cdot NRR \quad (3)$$

系统代谢力 城市系统的功能运转需要消耗大量的物质与能源,同时也产生相应的废弃物,包括废气、废水及垃圾等,对城市大气、水等环境的循环自净能力带来负担,由城市物质代谢功能的运转可指示城市自然子系统功能的健康状况。本文采用生活垃圾无害化处理率(living garbage disposal rate, $LGDR$)、工业固体废物处置利用率(industrial solid waste disposal rate, $ISWDR$)、空气环境质量(air environment quality, AEQ)、淡水环境质量(fresh water environment quality, $FWEQ$)、环境噪声(environmental noise, EN)、近岸海域水环境质量(offshore marine water environment quality, $OMWEQ$)等环境指标,同时结合其各自的权重值($W_i, i = LGDR, ISWDR, AEQ, FWEQ, EN, OMWEQ$)共同作为系统代谢力的综合表征。具体计算公式如下:

$$MC = W_{LGDR} \cdot LGDR + W_{ISWDR} \cdot ISWDR + W_{AEQ} \cdot AEQ + W_{FWEQ} \cdot FWEQ + W_{EN} \cdot EN + W_{OMWEQ} \cdot OMWEQ \quad (4)$$

2.3.2 社会子系统功能评价

社会子系统以人口为中心,以满足城市居民的就业、居住、交通、供给、文娱、医疗、教育及生活环境等需求为目标,并为经济系统提供劳力和智力^[14]。两岸沿海地区城市社会子系统功能(social subsystem function, SSF),可通过其社会承载能力(social carrying capacity, SCC),与安全保障相关的社会稳定性(social stability, SS)及城市文化延续性(cultural sustainability, CS)对其系统功能进行测定,三者同等重要。

$$SSF = MEAN(SCC, SS, CS) \quad (5)$$

社会承载力 社会子系统主要承载因为城市化而集聚的人口,一个完善的社会子系统可提供居民较好的就业、生活、医疗、教育等机会,吸引外部居民进入,同时也为系统带来新的劳动力及更新的契机。本文采用人口密度(population density, PD)指标作为社会承载力的表征。人口密度并不是单纯的正向或逆向指标,而是一个适度型指标,过高或过低皆影响城市功能,但两岸城市面积差距较大,文中的人口密度计算是基于建设用地上的人口,且在目前两岸 16 个典型城市中皆属于高人口密度区域,其结果多数高于相关生态城市评价研究中的标准,但低于同时期大阪、首尔、雅加达等其它亚洲中心城市的密度^[15],故在此将其视为正向指标。具体计算公式如下:

$$SCC = W_{PD} \cdot PD \quad (6)$$

社会稳定性 社会稳定受许多因素影响,包括收入、医疗、就业、教育、治安等层面。随着经济效益的不断积累,社会系统中的贫富差距逐渐加大,进而导致社会治安问题的出现,其中失业不仅是劳动力资源的浪费,也是造成社会不稳定的重要因素。在此采用就业率(employment rate, ER)、人均住房(per capita housing, PCH)、医疗保险覆盖比例(medical insurance coverage, MIC)和人均寿命(life expectancy, LE)等指标,同时结合其各自的权重值($W_i, i = ER, PCH, MIC, LE$)共同作为社会稳定性的综合表征。具体计算公式如下:

$$SS = W_{ER} \cdot ER + W_{PCH} \cdot PCH + W_{MIC} \cdot MIC + W_{LE} \cdot LE \quad (7)$$

文化持续性 人是社会的主体,人类需要通过各种形式的教育获得知识、技能,高等教育位于学校教育的顶部,高等学校的学生数量可反应城市文化教育的质量与普及性,同时说明两岸城市文化持续力的差异。本文采用受高等教育比例(high education level proportion, $HELP$)和人均受教育年限(average length of education, ALE)等指标,同时结合其各自的权重值($W_i, i = HELP, ALE$)共同作为文化持续性的综合表征。具体计算公式如下:

$$CS = W_{HELP} \cdot HELP + W_{ALE} \cdot ALE \quad (8)$$

2.3.3 经济子系统功能评价

城市经济系统在能流、物流、信息流的同时还存在着资金流的循环与转移^[16],其中又以资金流为影响城市经济发展的主导与指标性因素。城市的经济子系统功能(economic subsystem function, ESF),其衡量需涉及当前的状态与未来的发展潜力,在此本研究分别由生活富足度(opulence level, OL)与产业竞争力(industrial competitiveness, IC)两方面进行探讨,在功能值计算上,两者同等重要。

$$ESF = MEAN(OL, IC) \quad (9)$$

生活富足度 一个城市居民是否富足涉及一系列满足居民物质生活需要和精神生活需要的内容,人均收入、消费水平和教育医疗花费等皆可作为城市居民生活富足度的参考。本文采用非食物消费比例(non food consumption rate, $NFCR$)和人均日交通成本(per capita traffic cost, $PCTC$)等指标,同时结合其各自的权重值($W_i, i = EC, PCTC$)共同作为生活富足度的综合表征。具体计算公式如下:

$$OL = W_{EC} \cdot EC + W_{PCTC} \cdot PCTC \quad (10)$$

产业竞争力 在国际化与全球化力量的推动下,城市经济发展的竞争力,可由其对世界经济的影响来体现,主要涉及金融、物流、管理、服务等第三产业,因此城市第三产业的信息,可大概反应城市的性质及其对外围的影响。在此采用第三产业 GDP 比例(GDP proportion of tertiary industry, $GDPTI$)、单位工业增加值水耗(water cost per industrial added value, $WCLAV$)、单位 GDP 能耗(energy consumption per GDP, $ECGDP$)、单位土地 GDP 产出(GDP in unit area, $GDPUA$)等指标,同时结合其各自的权重值($W_i, i = GDPTI, WCLAV, ECGDP, GDPUA$)共同作为产业竞争力的综合表征。具体计算公式如下:

$$IC = W_{GDPTI} \cdot GDPTI + W_{WCLAV} \cdot WCLAV + W_{ECGDP} \cdot ECGDP + W_{GDPUA} \cdot GDPUA \quad (11)$$

2.4 城市生态系统功能协调度评价

城市复合生态系统的结构体现了人的栖息劳作环境(包括地理环境、生物环境和人工环境)、区域生态环境(包括物资供给的源、产品废物的汇以及调节缓冲的库)及文化社会环境(包括文化、组织、技术)等的耦

合^[14]。自然、社会及经济子系统共同构成城市生态系统,并存在一定的内在联系。3 个子系统的功能相辅相成,连环耦合,协调发展,不可有所偏废。本研究基于 3 个子系统标准化功能值计算两两之间的系统协调度,其中自然生态系统与社会系统协调度(natural-social compatibility, *NSC*),社会与经济系统协调度(social-economic compatibility, *SEC*)和自然生态系统与经济系统协调度(natural-economic compatibility, *NEC*)可分别按下式计算:

$$NSC_i = 1.0 - |(NSF_i - SSF_i) / (NSF_i + SSF_i + ESF_i)| \quad (12)$$

$$SEC_i = 1.0 - |(SSF_i - ESE_i) / (NSF_i + SSF_i + ESF_i)| \quad (13)$$

$$NEC_i = 1.0 - |(NSF_i - ESF_i) / (NSF_i + SSF_i + ESF_i)| \quad (14)$$

在此基础上,基于上述子系统间协调度的均值来表征综合协调度(Integrated compatibility, *InC*),借以量化子系统的协调发展情况。计算公式可表述为:

$$InC_i = MEAN(NSC_i, SEC_i, NEC_i) \quad (15)$$

式中,*InC_i*为第 *i* 个城市生态系统的综合协调度,*NSF_i*为该城市自然子系统功能值,*SSF_i*为该城市社会子系统功能,*ESF_i*为该城市经济子系统功能值。

表 1 两岸城市子系统功能评价指标

Table 1 subsystems functions assessment indicators of urban ecosystem in mainland China and in Taiwan

项目 Item	功能 Function	指标 Indicator	指标权重 Index weight	
自然子系统 Natural subsystem	生态服务	森林覆盖率 ^{1,4}	0.40	
		保护区面积比例 ^{1,4}	0.18	
		人均公共绿地面积 ¹	0.22	
		自然河段比例 ²	0.20	
	系统代谢力	生活垃圾无害化处理率 ^{1,5}	生活垃圾无害化处理率 ^{1,5}	0.19
			工业固体废物处置利用率 ¹	0.14
			空气环境质量 ¹	0.27
			淡水环境质量 ¹	0.26
			环境噪声 ¹	0.07
			近海水环境质量 ¹	0.07
社会子系统 Social subsystem	社会承载力	人口密度 ^{2,6}	1.00	
		社会稳定	0.40	
	文化持续	人均住房 ³	0.20	
		医疗保险覆盖比例 ³	0.24	
		人均寿命 ²	0.16	
		受高等教育比例 ^{2,8}	0.40	
经济子系统 Economic subsystem	生活富裕程度	人均受教育年限 ³	0.60	
		非食物消费比例 ^{3,9}	0.60	
	产业竞争力	人均日交通成本 ³	0.40	
		第三产业 GDP 比例 ^{1,10}	0.26	
		单位工业增加值水耗 ¹	0.16	
		单位 GDP 能耗 ¹	0.30	
	单位土地 GDP 产出 ³	0.28		

1: 指标源于国家生态市建设指标; 2: 指标源于国内外生态城市评价指标; 3: 指标源于两岸城市特色指标; 4: 以“非建设用地比例”指标替代, 为目前生态服务功能中的可对比的指标, 计算公式 = (非建设用地面积 / 市域总面积) × 100%; 5: 目前系统代谢力中的可对比的指标, 计算公式 = (焚烧、卫生掩埋、回收垃圾量 / 垃圾清运量) × 100%; 6: 计算公式 = 全市常住人口 / 建设用地; 7: 目前社会稳定中的可对比的指标, 计算公式 = (从业人口 / 劳动人口) × 100%; 8: 以“万人高等学校数”指标替代, 为目前文化持续中的可对比的指标, 计算公式 = 高等学校数 / 全市常住人口; 9: 目前生活富裕程度中的可对比的指标, 计算公式 = (非食品消费 / 总消费支出) × 100%; 10: 以“第三产业比重”指标替代, 为目前产业竞争力中的可对比的指标, 计算公式 = (第三产业人口 / 劳动人口) × 100%

3 研究结果

两岸城市具有地理区位、面积、管理等不同方面的先天差异,其城市生态系统功能也因内部环境、社会及经济子系统作用的差异而有所不同。本研究基于两岸沿海城市经济发展稳定、人口聚集度高、气候条件相对温和与资源多样性丰富等共通性,构建城市生态系统功能评价指标体系,探讨分析不同城市内部子系统功能结构的差异及其间的相互关系。

3.1 自然子系统功能差异

自然子系统整体功能方面,大陆的 10 个典型城市整体高于台湾的 6 个典型城市,其中环境子系统功能最佳者为宁波市,其次为基隆市,受服务功能较低影响,最低者为台湾地区的高雄市。由于台湾地区城市规模较小,建设用地比例偏高,而大陆城市市域范围较大,并涵括大量的农业用地,因而在生态服务功能上台湾地区城市得分较低;在系统代谢力方面,台湾地区城市的垃圾完善处理率相对较高,除台北市外皆可达到 100%,可知台湾地区的城市废弃物有较好的处理成效。基于上述分析,为强化城市自然子系统功能,台湾地区城市应于未来的城市更新过程中,应增加生态服务用地面积比例,并结合三维绿化方法,突破空间规模限制;而大陆地区的城市则须加强对城市废弃物的完善处理,提高资源利用效率。

表 2 各城市自然子系统生态功能评价结果

Table 2 Assessment results of ecological function in natural subsystem of each city

项目 Item	台北市 Taipei	基隆市 Keelung	新竹市 Hsinchu	台中市 Taichung	高雄市 Kaohsiung	台南市 Tainan
生态服务 Ecological services	0.575	0.762	0.343	0.383	0.174	0.488
系统代谢力 Metabolic capability	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
子系统功能得分 Subsystem score	0.787	0.881	0.671	0.691	0.587	0.744

项目 Item	北京 Beijing	上海 Shanghai	深圳 Shenzhen	广州 Guangzhou	宁波 Ningbo	温州 Wenzhou	天津 Tianjin	大连 Dalian	厦门 Xiamen	无锡 Wuxi
生态服务 Ecological services	0.854	0.760	0.561	0.847	0.915	1.000	0.754	0.894	0.804	0.804
系统代谢力 Metabolic capability	0.746	0.616	0.931	0.851	0.959	0.743	0.851	0.844	0.943	0.901
子系统功能得分 Subsystem score	0.800	0.688	0.746	0.849	0.937	0.872	0.802	0.869	0.873	0.852

3.2 社会子系统功能差异

在社会子系统整体功能方面,台湾的 6 个典型城市整体高于大陆的 10 个典型城市,其中社会子系统功能最佳者为台北市,其次为新竹市,大陆地区较高者为广州市。在承载力方面,以台湾地区台北市最高,为每平方公里 21007 人,大陆地区则以深圳市最高,为每平方公里 9153 人;在稳定性方面,台湾地区城市的稳定性各个城市大致相近,大陆地区则以深圳市、北京市的稳定性较高;在持续性上,台湾地区的高等教育相对普及,对城市文化的维系有较高的持续力。基于上述分析,为提高城市社会子系统功能,台湾地区城市应结合产业升级与开放旅游的契机,提高城市居民的就业率;而大陆地区城市相对常住人口而言,高等教育学校数量相对较低,不利于人口素质提高,是未来城市发展须进一步加强的方面。

3.3 经济子系统功能差异

在经济子系统整体功能方面,台湾的 6 个典型城市整体高于大陆的 10 个典型城市,其中经济子系统功能最佳者为台北市,大陆地区最佳者为北京市。在生活富足程度上,台湾地区城市居民在食品方面的生活支出比例皆低于 20%,而大陆地区的 10 个典型城市皆高于 30%,可知大陆地区的城市居民的基本消费相对较高。产业竞争力方面,台北市相对较高,其次为基隆市及北京市,可知 3 个城市对周围区域起到的物流、服务等功

能较强。基于上述分析可知,大陆地区典型城市居民生活的基础消费相对偏高,虽然其中存在区域、生活习惯差异,如何结合产业结构调整、提高经济发展水平是大陆地区城市在经济子系统方面需要强化的主要工作。

表 3 各城市社会系统功能评价结果

Table 3 assessment results of social function in each city

项目 Item	台北市 Taipei	基隆市 Keelung	新竹市 Hsinchu	台中市 Taichung	高雄市 Kaohsiung	台南市 Tainan
社会承载力 Social carrying capacity	1.000	0.477	0.624	0.479	0.592	0.380
社会稳定性 Social stability	0.978	0.973	0.974	0.974	0.973	0.977
社会持续性 Social sustainability	0.888	1.000	0.990	0.839	0.707	0.707
子系统功能得分 Subsystem score	0.955	0.817	0.862	0.764	0.757	0.688

项目 Item	北京 Beijing	上海 Shanghai	深圳 Shenzhen	广州 Guangzhou	宁波 Ningbo	温州 Wenzhou	天津 Tianjin	大连 Dalian	厦门 Xiamen	无锡 Wuxi
社会承载力 Social carrying capacity	0.230	0.364	0.436	0.301	0.232	0.422	0.147	0.139	0.273	0.236
社会稳定性 Social stability	0.995	0.937	1.000	0.988	0.970	0.983	0.958	0.962	0.986	0.947
社会持续性 Social sustainability	0.254	0.161	0.054	0.302	0.093	0.039	0.205	0.171	0.273	0.093
子系统功能得分 Subsystem score	0.493	0.487	0.496	0.530	0.431	0.481	0.437	0.424	0.511	0.425

表 4 城市经济系统功能评价结果

Table 4 Assessment results of economic function in each city

项目 Item	台北市 Taipei	基隆市 Keelung	新竹市 Hsinchu	台中市 Taichung	高雄市 Kaohsiung	台南市 Tainan
生活富足度 Live affluence degree	0.972	0.936	1.000	0.942	0.941	0.927
产业竞争力 Industrial competitiveness	1.000	0.883	0.696	0.890	0.844	0.765
子系统功能得分 Subsystem score	0.986	0.910	0.848	0.916	0.893	0.846

项目 Item	北京 Beijing	上海 Shanghai	深圳 Shenzhen	广州 Guangzhou	宁波 Ningbo	温州 Wenzhou	天津 Tianjin	大连 Dalian	厦门 Xiamen	无锡 Wuxi
生活富足度 Live affluence degree	0.799	0.744	0.770	0.727	0.729	0.748	0.752	0.694	0.745	0.729
产业竞争力 Industrial competitiveness	0.877	0.675	0.544	0.674	0.440	0.395	0.578	0.557	0.337	0.528
子系统功能得分 Subsystem score	0.838	0.710	0.657	0.701	0.584	0.571	0.665	0.625	0.541	0.628

3.4 城市生态子系统协调度差异

通过子系统间的两两比较,分析其功能值间的协调度差异。自然和社会子系统的协调发展程度以台湾地区的城市相对较高,基隆市、台南市较高,大陆地区则以上海市较高;社会与经济子系统的协调发展程度两岸城市皆有较高水平,其中台湾地区较高者为新竹市,大陆地区较高者为厦门市;自然与经济子系统的协调发展程度则以上海市和北京市相对较高。

在三者的协调发展程度上,16个城市中以基隆市的城市功能协调度较高,其次为台南市和台北市,大陆地区以上海市的子系统综合协调度最高,其次为深圳市,可推知基隆市及上海市在平衡生态环境保护与社会

经济发展有一定的成效。

表 5 各城市自然-经济-社会功能协调度评价结果

Table 5 Assessment results on the compatibility among the natural-economic-social functions in each city

项目 Item	台北市 Taipei	基隆市 Keelung	新竹市 Hsinchu	台中市 Taichung	高雄市 Kaohsiung	台南市 Tainan
自然-社会协调度 Natural-social compatibility	0.938	0.975	0.920	0.969	0.924	0.975
社会-经济协调度 Social-economic compatibility	0.989	0.964	0.994	0.936	0.939	0.931
自然-经济协调度 Natural-economic compatibility	0.927	0.989	0.926	0.905	0.863	0.955
综合协调度 Integrated compatibility	0.951	0.976	0.947	0.937	0.909	0.954

项目 Item	北京 Beijing	上海 Shanghai	深圳 Shenzhen	广州 Guangzhou	宁波 Ningbo	温州 Wenzhou	天津 Tianjin	大连 Dalian	厦门 Xiamen	无锡 Wuxi
自然-社会协调度 Natural-social compatibility	0.856	0.894	0.869	0.847	0.741	0.797	0.808	0.768	0.812	0.776
社会-经济协调度 Social-economic compatibility	0.838	0.882	0.915	0.918	0.922	0.953	0.880	0.895	0.984	0.893
自然-经济协调度 Natural-economic compatibility	0.982	0.988	0.953	0.929	0.819	0.844	0.928	0.873	0.828	0.882
综合协调度 Integrated compatibility	0.892	0.921	0.912	0.898	0.827	0.865	0.872	0.845	0.874	0.851

4 结论与讨论

两岸城市对于生态建设皆相当重视,投入了大量资金和人力物力,通过两岸城市生态功能比较,有助于相互截长补短,提高未来生态建设成效。由于台湾地区城市发展阶段相对超前,演化过程也相对成熟,于社会、经济子系统及整体功能上都有较高的功能值。依据本研究现有数据分析结果,16 个典型城市中,单就各子系统功能值,自然子系统功能以台湾地区基隆市及大陆地区温州市较佳,社会子系统以台湾地区台北市及大陆地区厦门市较佳,经济子系统以台湾地区台北市及大陆地区北京市较佳。由于子系统间的协调发展有助于城市生态系统整体功能的提升,因此,台湾地区的基隆市及大陆地区上海市亦有另一方面的借鉴意义。在未来的城市发展上,为健全城市生态系统整体功能,台湾地区的城市应强化绿色空间的建设,结合三维绿化,补救城市内部自然空间不足的先天限制;大陆地区的城市迫切需要加强环境、教育与医疗的软、硬件建设。

由于两岸城市的区域发展定位及空间尺度不同,相应的政府职能、面临的发展压力和环境亦有所不同,统计口径也因此有所差异。社会统计方面,主要表现在人口统计的差异,由于两岸户籍管理不同,台湾地区城市人口更近似大陆地区城市常住人口的涵义,且目前大陆地区沿海城市以外来人口居多,因此在户籍人口基础上进行的统计,便缺乏对城市结构与资源分配的精确掌握,例如常住人口男女比例、教育程度、教育及医疗资源分配与普及程度。经济统计方面,主要表现在 GDP 的统计上,台湾地区仅在全岛尺度上进行 GDP 的统计,而大陆地区由于面积广大,GDP 的统计被运用的相当广泛,成为体现经济实力的主要指标,小至区、县、乡镇皆以此进行比较,容易产生相邻地区 GDP 的竞争,无法统筹发展,容易产生资源盲目开发或重复建设的浪费。环境统计方面,台湾地区城市统计缺乏对环境质量的直观数据,对普通市民而言,大气中的悬浮微粒、落尘量并无法直观的反映大气质量的变化,达标天数或比例更有利于居民对环境保护的参与;在水质管理上,台湾地区是以流域为单元进行管理与监测,从生态系统角度,以流域为单元的管理,更有助于落实污染防治工作的进行。

城市功能存在多元与动态变化的特性,依据城市发展阶段不同,城市必须体现出不同的外部职能定位,并满足内部的功能需求,本文从城市生态系统角度,将城市功能简化为社会、经济与自然 3 个主要内容,缺乏对

子系统间两两相互作用或共同作用所产生的功能进行讨论,因此评价指标体系对城市功能的反映仍有不足。另外,两岸沿海城市皆属于相对发达地区,为衡量其间差异,评价指标需具有一定的敏感性,但在实际操作中,指标敏感性仍缺乏度量依据。

由于两岸城市统计口径有所差异,指标体系所需的数据无法全部获得,在指标计算时仅选择具有可对比性的官方统计数据进行比较,研究结果对于城市生态功能反应有一定的局限,无法精确反应城市生态的各项内容,因此城市生态功能评价结果仍有待商议,将在后续研究中对其他数据进行补充。另外,在城市生态系统功能的评价上,本研究将其划分为个别的子系统进行分析,缺乏对子系统功能间关联性的讨论,对于完整的城市生态系统功能仍有不足,有待进一步完善。

References:

- [1] CEC. A Sustainable Europe for a Better World; A European Strategy for Sustainable Development. Brussels; Commission of the European Communities(CEC), COM, 2001: 2-7.
- [2] UNEP. Global Environment Outlook 3 // Past, present and future perspectives. United Nations Environment Programme (UNEP). London: Earthscan Publications, 2002: 1-26, 240-269.
- [3] Wang F Z. Comprehensive evaluation and regulation of urban ecosystem. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1991, 2: 26-30.
- [4] Wang Y C, Shi Y S, Chen T. The study on the comparison and innovation to the evaluation system of eco-cities. *Urban Problems*, 2007, 149: 17-21, 27.
- [5] Ni P F. Urban Competitiveness of China. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2006: 5-18.
- [6] Ma S J, Wang R S. Social-economic-natural complex ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1984, 4 (1): 1-9.
- [7] Bolund P, Hunluammar S. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 1999, 29: 293-301.
- [8] Song Z Q, Wang Y L. Progress in research on ecological impact of urban landscape structure. *Progress in Geography*, 2005, 23(2):97-106.
- [9] Forman R T T, Alexander L E. Roads and Their Major Ecological Effects. *Annual Reviews of Ecological System*, 1998, 29: 207-31.
- [10] Urban and Housing Development Department (Chinese Taipei). *Urban and Regional Development Statistics*. Taipei: Urban and Housing Development Department, Council for Economic Planning and Development, Executive Yuan, 2007.
- [11] National Bureau of Statistics of China. *Urban Statistical Yearbook of China 2007*. Beijing: China Statistics Press, 2008.
- [12] McQueen D, Noak H. Health Promotion Indicators: Current Status, Issues and Problems. *Health Promotion*, 1988, 3: 117-125.
- [13] Zong Y G, Xu H Y, Tang Y B, Chen H Z. The Systematic Analysis on Value of Urban Ecosystem Services. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1999, 12(4): 19-22.
- [14] Li F, Wang R S. Urban ecological management. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2006, 4(2): 8-13.
- [15] Taipei Yearbook 2007 Editorial Group. *Taipei Year Book 2007*. Taipei: Secretariat of Taipei City Government, 2008.
- [16] Shen Q J. Relationship between urban ecosystem and economic. *Planners*, 2001, 17(1): 17-21.

参考文献:

- [3] 王发曾. 城市生态系统的综合评价与调控. *城市环境与城市生态*, 1991, 2: 26-30.
- [4] 王云才, 石忆邵, 陈田. 生态城市评价体系对比与创新研究. *城市问题*, 2007, 149: 17-21, 27.
- [5] 倪鹏飞. 城市竞争力蓝皮书:中国城市竞争力报告 NO.4. 北京:社会科学文献出版社, 2006: 5-18.
- [6] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. *生态学报*, 1984, 4(1): 1-9.
- [8] 宋治清, 王仰麟. 城市景观及其格局的生态效应研究进展. *地理科学进展*, 2005, 23(2): 97-106.
- [10] 行政院经济建设委员会(中国台湾). *都市及区域发展统计汇编*. 中国台湾:行政院经济建设委员会, 2007.
- [11] 国家统计局城市社会经济调查司. *中国城市统计年鉴 2007*. 北京:中国统计出版社, 2008.
- [13] 宗跃光、徐宏彦、汤艳冰、陈红春. 城市生态系统服务功能的价值结构分析. *城市环境与城市生态*, 1999, 12(4): 19-22.
- [14] 李锋, 王如松. 论城市生态管理. *中国城市林业*, 2006, 4(2): 8-13.
- [15] 台北市年鉴编辑工作小组. *台北市年鉴 2007*. 台北:台北市政府秘书处, 2008.
- [16] 沈清基. 城市生态系统与城市经济系统的关系. *规划师*, 2001, 17(1): 17-21.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 21 2010

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

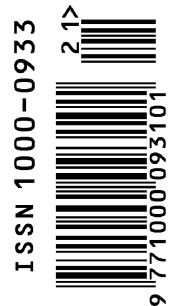
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元