

DOI: 10.5846/stxb201610172097

黄国和, 安春江, 范玉瑞, 徐琳瑜, 李永平, 蔡宴朋, 李延峰, 李峰. 珠江三角洲城市群生态安全保障技术研究. 生态学报, 2016, 36(22): - .  
Huang G H, An C J, Fan Y R, Xu L Y, Li Y P, Cai Y P, Li Y F, Li F. Development of ecological security protection techniques for the urban agglomeration area in the Great Pearl River Delta. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(22): - .

## 珠江三角洲城市群生态安全保障技术研究

黄国和<sup>1</sup>, 安春江<sup>1</sup>, 范玉瑞<sup>1</sup>, 徐琳瑜<sup>1</sup>, 李永平<sup>1</sup>, 蔡宴朋<sup>1</sup>, 李延峰<sup>1</sup>, 李峰<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875

<sup>2</sup> 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

**摘要:**近年来,在工业化、城镇化迅速推进和人口急剧增长的同时,珠三角城市群正面临严重的现代城市生态问题。生态安全问题已成为珠三角地区率先全面建成小康社会的重大制约瓶颈,对该地区经济社会的可持续发展构成了严重的威胁。“珠江三角洲城市群生态安全保障技术”项目将围绕脆弱生态修复与保护这一科技需求,对珠三角城市群复合生态系统进行综合研究。项目将针对内部互动复杂、空间组织紧凑、经济关联密切的城市群复合生态系统,开展城市群生态基底核算与健康诊断、城市群代谢模拟与生态风险预测预警技术、城市群生态安全格局网络设计及生态安全保障技术、城市群生态景观重建与生态空间修复技术、濒海城市群受损生境修复与生态安全保障技术以及城市群生态安全调控技术集成及协同监管平台构建与示范等六方面的研究。项目将为珠三角城市群生态问题的识别、评估与调控提供有效的理论基础、方法体系及技术示范,由之将为保障该城市群的生态安全提供科学支持,并带来显著的社会、经济与生态效益。

**关键词:**生态安全; 城市群; 珠江三角洲

## Development of ecological security protection techniques for the urban agglomeration area in the Great Pearl River Delta

HUANG Guohe<sup>1</sup>, AN Chunjiang<sup>1</sup>, FAN Yurui<sup>1</sup>, XU Linyu<sup>1</sup>, LI Yongping<sup>1</sup>, CAI Yanpeng<sup>1</sup>, LI Yanfeng<sup>1</sup>, LI Feng<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Environmental Science, Beijing Normal University, State Key Joint Labtory of Environmental Simulation and Pollution Control, Beijing 100875, China

<sup>2</sup> State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

**Abstract:** Due to industrialization, urbanization and population explosion, there have been severe ecological problems for the urban agglomeration area in the Great Pearl River Delta. The ecological security issue becomes the major restricting factor for building a moderately prosperous society in the Great Pearl River Delta, jeopardizing the sustainable development of local socio-economic activities. The project of “Development of ecological security protection techniques for the urban agglomeration area in the Great Pearl River Delta” aims to meet the requirements of vulnerable ecosystem restoration and protection, and conduct comprehensive research for the integrated ecosystem in the urban agglomeration area of the Great Pearl River Delta. The study will be conducted based on the complex interactions, compact spatial organization, and intimate economic relationships for ecosystem in the urban agglomeration area. The topics include (1) ecological base accounting and health evaluation, (2) metropolitan metabolism simulation and ecological risk assessment, (3) network design for ecological security and protection of ecological security, (4) landscape reconstruction and ecological space restoration, (5) restoration of damaged habitats and protection of ecological security for coastal urban agglomeration area,

基金项目: 珠江三角洲城市群生态安全保障技术(2016YFC0502800)

收稿日期: 2016-10-17

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guohe.huang@outlook.com

(6) integration of ecological security protection techniques, development of supervisory platform and demonstration projects. This project can provide theory basis, technique system and demonstration for characterization, evaluation and regulation of ecological problems in the urban agglomeration area of the Great Pearl River Delta. The outcomes have significant socio-economic and ecological benefits.

**Key Words:** Ecological security; Urban agglomeration area; Great Pearl River Delta

本文创新点:

- 提出“多层式城市群”概念与框架体系, 深入反映城市群生态系统的复杂性, 并定量解析“群”生态系统的生态安全动态机制。

- 改进几十年来沿用的“城市代谢”理论, 建立“城市群代谢”模拟系统。

- 开发多层迭代式城市群系统随机优化与管理模型, 从而为生态风险的协同监管提供定量科学依据。

## 1 前言

城市群是在地域上以大城市为中心, 以区域网络化组织为纽带, 由若干不同等级城市及其腹地通过空间相互作用而形成的多核心、多层次城市群。十六届五中全会把推动城市群发展作为提升我国国际竞争力、统筹区域发展和优化城市空间结构的有效途径; 国家《“十一五”规划纲要》、《“十二五”规划纲要》也明确规定城市群为推进城镇化进程的主体形态。珠三角城市群是以广州、深圳为核心, 包括珠海、佛山、惠州、东莞、中山、江门、肇庆而形成的特大集群。该城市群毗邻港澳, “泛珠三角”的大区地缘优势明显。2015年, 珠三角9个仅占全国面积0.57%的城市, 创造了全国9.2%的GDP, 生产总值达62267.45亿元。近年来, 在工业化、城镇化迅速推进和人口急剧增长的同时, 珠三角城市群正面临严重的现代城市生态问题, 如土地退化、植被破坏、环境污染、生物多样性锐减、生态失调等。生态安全问题已成为珠三角地区率先全面建成小康社会的重大制约瓶颈, 对该地区经济社会的可持续发展构成了严重的威胁。

城市生态系统是一个复杂的巨系统, 涉及社会、经济、资源、环境等多个子系统, 且每个子系统均包含多个随时间不断演进变化的层次与组分, 具有显著的不确定性、多功能性、多目标性和动态性。珠三角城市群包含九大城市。它们在发展过程中相互影

响, 相互作用, 导致原有的城市系统复杂性在城市群多层式网络结构中被高度放大, 由之产生了更多、更显著且更复杂的区域性生态问题, 如城界黑臭水体泛滥、自然生态空间减少和破碎化、生态系统功能破坏严重、区域生物多样性急剧下降、资源配置矛盾突出、感潮河段生态问题凸显以及城市自然景观退化等。这些复杂性常表现为城市生态系统单元及其相互之间不同层次、不同组分间大量错综复杂的矛盾组合, 如线性与非线性、平衡与非平衡、连续与离散、无序与有序等。如此的诸多系统复杂性, 给区域生态安全保障带来了极大挑战。

## 2 城市群生态安全研究方法

城市生态系统的评估、模拟、修复和调控早为各国所重视。过去几十年来, 各国学者从不同层次、不同角度及不同时空尺度对城市生态系统开展了一系列研究。Pickett等<sup>[1]</sup>研究了大都市的生态、物质以及社会经济成分的特征与联系。从城市生态系统各成分的尺度特征角度, Ernstson<sup>[2]</sup>等分析了城市生态过程和社会发展过程的尺度差异, 并提出了斯德哥尔摩城市绿地规划方案。从城市生态系统多成分之间相互影响的角度, Lyytimäki和Sipilä<sup>[3]</sup>研究了不同生态危害对城市绿地规划的影响。Stott<sup>[4]</sup>等研究了闲置土地对城市生态功能的影响。Su等<sup>[5]</sup>使用了集对分析对城市生态系统健康进行评估。Zhao和Chai<sup>[6]</sup>基于最大信息熵法开发了城市生态系统的健康评估等。Wolman<sup>[7]</sup>提出城市代谢(Urban Metabolism)概念, 定义城市代谢为物质、能量输入城市以及产品、废物输出城市的完整过程, 用以指明物质、能量流动的基本方式, 揭示城市对外环境的影响。Kennedy等<sup>[8]</sup>对城市代谢内涵进行延伸, 将其看作是城市中一切技术与社会经济过程的总和。Pandit等<sup>[9]</sup>提出了一个基于基础设施生态学的城市可持续发展范例。Sopfiya等<sup>[10]</sup>构建了一套滨海城市生态脆弱性评价模型, 并研究了海水倒灌对印度西部

濒海城市生境的影响,提出了相应的修复建议。整体而言,国际上对于城市生态系统研究的总现状可以归结为:对于单个城市生态系统的研究较为深入,但对城市群生态系统的复杂性和联动性研究不足。

我国对城市生态系统的相关研究起步稍晚,近年来也取得了诸多的研究成果<sup>[11,12]</sup>。例如,黄国和等<sup>[13]</sup>针对现代城市生态系统所存在的问题,将之比作城市的“病症”,并对系统进行了综合辨识,提出了调控规划方案。徐琳瑜等<sup>[14]</sup>计算了广州市城市生态系统承载力与压力,获得二者的动态关系。曾光明等<sup>[15]</sup>分析了城市生态系统规划的不确定性。张妍和杨志峰<sup>[16]</sup>从城市物质代谢通量及其生态效率出发,构建了城市物质代谢生态效率的度量模型,并将其应用于深圳的城市管理研究中。吴玉琴等<sup>[17]</sup>从城市生态经济系统的观点出发,建立城市系统动态模拟模型并模拟了广州市的生态环境变迁情况。刘耕源等<sup>[18]</sup>基于生态网络的概念模拟了大连市的城市代谢结构。安佑志<sup>[19]</sup>采用多风险源、多风险受体的区域生态风险评价方法对上海市进行了城市生态风险评价。龚建周<sup>[20]</sup>等采用空间统计学方法对广州生态安全进行分析,识别其形成与发生变化机制,并探讨区域生态安全的主要影响因子。李锋等<sup>[21]</sup>从城市湿地生态基础设施、绿地生态基础设施和城市地表硬化的生态工程改造三个方面对国内多个城市的生态基础设施进行评估。李媛等<sup>[22]</sup>构建了生态城市规划决策支持系统框架,并以中新天津

生态城为例进行了实证研究。相较而言,我国大多数相关城市生态系统的研究仍处于对国外理论的引进和消化阶段,研究工作大多局限于对单个城市生态系统的定量分析或对城市群系统的定性分析,缺乏对城市群复合生态系统的多方位定量识别与综合调控研究,未能从全方位的角度对复杂的城市群生态安全问题进行多层次的辨识、评价、模拟、优化和协同监管研究

### 3 珠江三角洲城市群生态安全保障技术框架

如何开展珠江三角洲城市群生态安全保障技术研究涉及到很多关键科学问题,例如:如此诸多的城市群生态问题是如何产生的?这需要对城市群生态系统多层式复杂结构下各组分的内在演变规律及其间的互动机制进行科学的剖析。这些生态问题可能带来什么样的环境、社会与经济后果?这需要对城市群生态系统的复杂性进行深入分析,以揭示其内在机制及其中蕴含的生态风险问题与效应。解决上述问题的关键所在是如何基于对城市群特有的多层式生态系统的解构和整合,开发有效的评估、监管、修复、保障和调控技术,并为区域生态安全一体化保障提供决策支持。

本项目将围绕脆弱生态修复与保护这一科技需求,对珠三角城市群复合生态系统进行综合研究。本研究将提出城市群复合生态系统多层式结构的概念(图 1),旨在对系统中繁多的组分进行细致的解

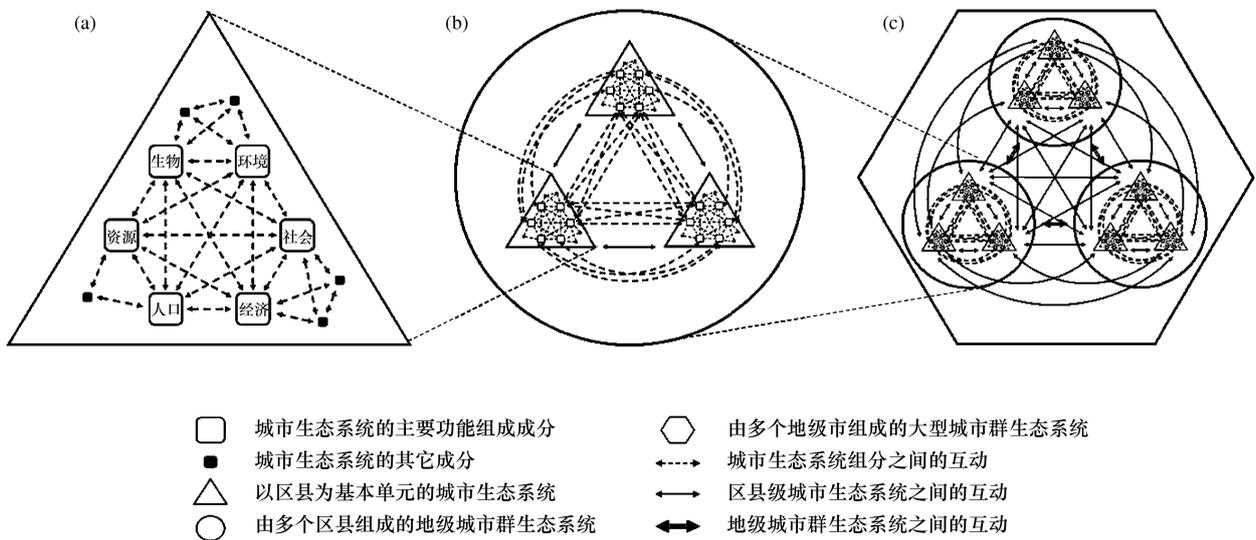


图 1 多层式城市群复合生态系统

Fig.1

构分析,并在剖析多层次、多组分间互动关系的基础上,对此复杂系统进行整合研究。这一解构与整合分析体系将有助于研究珠三角城市群的生态安全一体化保障问题。项目总体目标包括:(1)初步建立一个珠三角城市群复合生态系统安全保障技术体系;(2)促进珠三角城市群发展过程中一系列生态安全问题的解决;(3)提高我国城市生态科学与技术的整体研究水平。本项目拟解决的关键科学问题包括:(1)如此诸多的城市群生态问题是如何产生的?这需要对城市群生态系统多层式复杂结构下各组分的内在演变规律及其间的互动机制进行科学的剖析。(2)这些生态问题可能带来什么样的环境、社会与经济后果?这需要对城市群生态系统的复杂性进行深入分析,以揭示其内在机制及其中蕴含的生态风险问题与效应。项目将针对内部互动复杂、空间组织紧凑、经济关联密切的城市群复合生态系统,开展城市群生态基底核算与健康诊断、城市群代谢模拟与生态风险预测预警技术、城市群生态安全格局网络设计及生态安全保障技术、城市群生态景观重建与生态空间修复技术、滨海城市群受损生境修复与生态安全保障技术以及城市群生态安全调控技术集成及协同监管平台构建与示范等六方面的研究。本项目的技术路线如图2所示。

具体而言,本项目将(1)提出并定义城市群复合生态系统的多层式结构,通过对城市群生态系统的解构与整合分析,对其系统特征进行辨识,深入剖析各系统组分的特征以及它们之间的复杂互动关系,并开发多个多层式生态系统健康诊断及安全评估的相关技术。(2)通过开发多层式随机城市群代谢模拟技术,揭示珠三角多城市与周围环境之间以及珠三角内部城市之间的物质与能量流动规律。通过开发多层式城市群生态风险预测预警平台,以评估珠三角城市群高密度产业的潜在影响,预测预警生态风险的跨界转移与累积。通过耦合区域气候变化、珠三角产业规划与城市化进程情景,揭示未来变化环境下的珠三角城市群生态风险时空变化特征。(3)提出多层级、网络化的生态安全格局设计思路,以多层多级的网络结构反映城市群生态安全格局的

功能与特性。遵循“理清经络,打通穴脉,以点带面,共振强化”的技术研发路线,开发一系列基于网络分析、模拟与优化技术的辨识、评价、规划与调控技术,旨在将珠三角城市群各市县分散的生态安全“局域网”打造为强健的城市群生态安全“万维网”,为珠三角城市群一体化生态安全格局网络设计及生态安全保障提供技术支持。(4)通过建立多层次复合受损生态空间诊断技术,揭示珠三角城市群受损生态空间退化机理。评价珠三角城市群生态景观与生态基础设施,开发和集成受损生态空间修复技术,构建能综合反映社会、经济、环境、生态等效益的复合生态空间修复技术评估体系,以识别优化修复技术。(5)着重于珠三角滨海城市群生态系统典型问题与特征,如海洋和内陆对系统的夹击影响,遵循系统化、结构化、量化的研究思路,综合辨识与评估生态修复技术,进而开展系统互动与风险分析,以实现生态调控过程的有效管理。(6)通过技术集成(各个子课题)和数据收集与共享,开发综合优化(多层迭代式综合优化模型),以及基于公众调查与专家分析的多重后优化技术。通过提出的城市群生态安全协同联动研究方法体系,对珠三角城市群以及广州、深圳、东莞三个重点城市开展示范研究。

#### 4 结论

综上所述,城市群的发展导致空前规模的资源开发和污染物排放,给我国生态环境带来巨大损害,严重威胁我国社会经济的可持续发展与人民生命财产的安全。研究城市群生态安全与调控机理,并由之建立科学的决策支持体系,既是解决我国城市群生态问题的必由之路,更是实现我国城市群可持续发展的重大需求。本项目将为珠三角城市群生态问题的识别、评估与调控提供有效的理论基础、方法体系及技术示范,由之将为保障该城市群的生态安全提供科学支持,并带来显著的社会、经济与生态效益。相关成果还可推广应用到我国其它城市群,并有助推动我国城市群生态系统管理模式的改善,从而对国家整体生态环境的改善及区域社会经济的可持续发展产生积极影响。

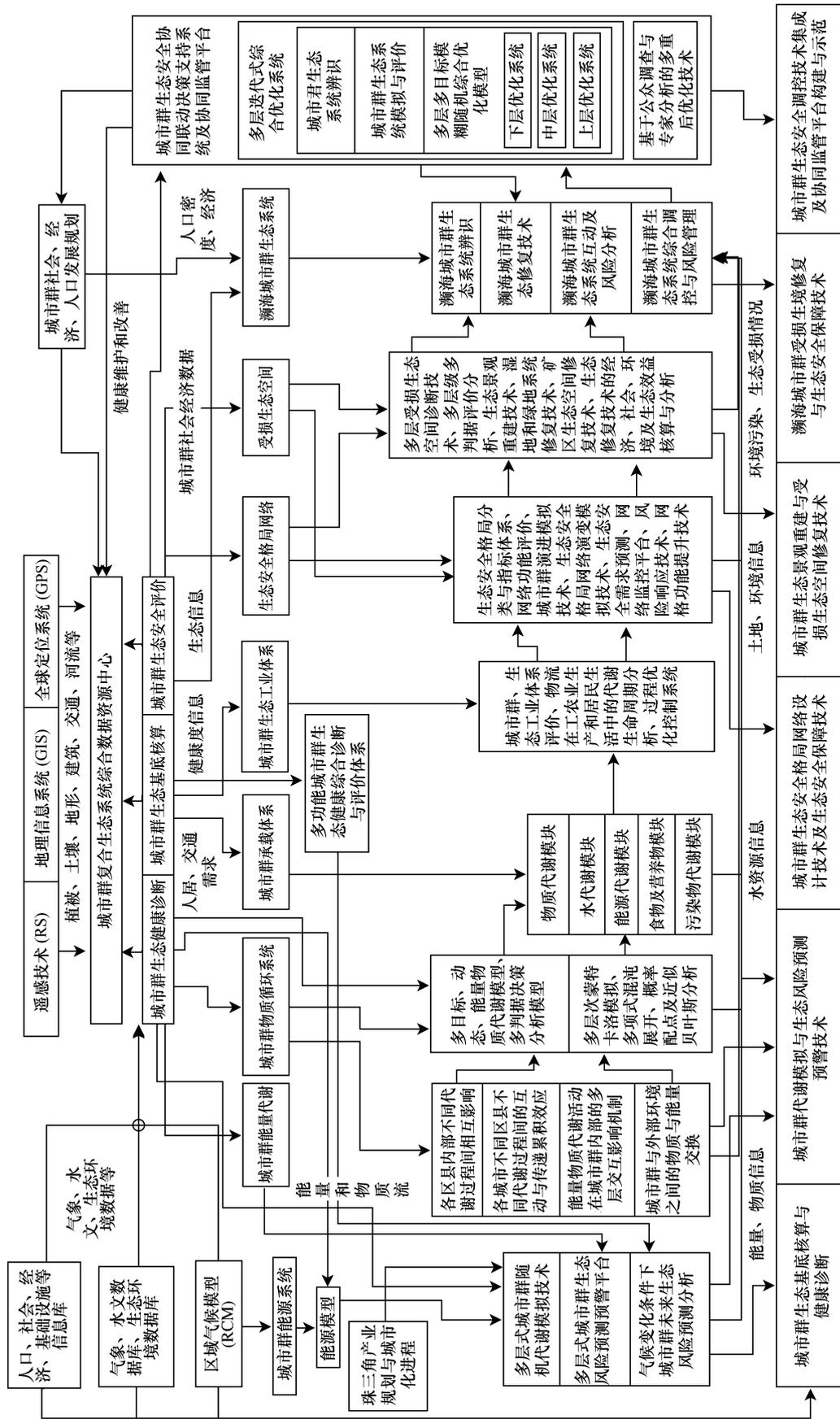


图 2 项目技术路线

Fig.2

图 2 项目技术路线

## 参考文献 (References):

- [ 1 ] Pickett S T, Cadenasso M L, Grove J M, Nilon C H, Pouyat R V, Zipperer W C, Costanza R. Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Urban Ecology*, Springer US, 2008: 99-122.
- [ 2 ] Ernstson H, Barthel S, Andersson E, Borgström S T. Scale-crossing brokers and network governance of urban ecosystem services: the case of Stockholm. *Ecology and Society*, 2010, 15 (4): 28.
- [ 3 ] Lyytimäki J, Sipilä M. Hopping on one leg - the challenge of ecosystem disservices for urban green management. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2009, 8(4): 309-315.
- [ 4 ] Stott I, Soga M, Inger R, Gaston K J. Land sparing is crucial for urban ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2015, 13(7): 387-393.
- [ 5 ] Su M R, Yang Z F, Chen B. Set pair analysis for urban ecosystem health assessment. *Communication in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2009, 14(4): 1773-1780.
- [ 6 ] Zhao S, Chai L. A new assessment approach for urban ecosystem health basing on maximum information entropy method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2015, 29(6): 1601-1613.
- [ 7 ] Wolman A. The metabolism of cities. *Scientific American*, 1965, 213(3): 179-190.
- [ 8 ] Kennedy C, Cuddihy J, Engel-Yan J. The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, 2007, 11(2): 443-459.
- [ 9 ] Pandit A, Minne E, Li F, Brown H, Jeong H, James J A C, Newell J P, Weissburg M, Chang M E, Xu M, Yang P. Infrastructure ecology: an evolving paradigm for sustainable urban development. *Journal of Cleaner Production*, 2015, in press.
- [ 10 ] Sophiya M S, Syed T H. Assessment of vulnerability to seawater intrusion and potential remediation measures for coastal aquifers: a case study from eastern India. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 70(3): 1197-1209.
- [ 11 ] 徐琳瑜, 杨志峰. 城市生态系统承载力. 北京: 北京师范大学出版社, 2011 年.
- [ 12 ] 杨志峰, 徐琳瑜, 毛建素. 城市生态安全评估与调控. 北京: 科学出版社, 2013 年.
- [ 13 ] 黄国和, 陈冰, 秦肖生. 现代城市“病”诊断, 防治与生态调控的初步构想. *厦门理工学院学报*, 2006, 14(3): 1-10.
- [ 14 ] 徐琳瑜, 杨志峰, 李巍. 城市生态系统承载力理论与评价方法. *生态学报*, 2005, 25(4): 771-777.
- [ 15 ] 曾光明, 焦胜, 黄国和, 王玲玲, 何理, 曹麻茹, 朱舟, 周建飞. 城市生态规划中的不确定性分析. *湖南大学学报: 自然科学版*, 2006, 33(1): 102-105.
- [ 16 ] 张妍, 杨志峰. 城市物质代谢的生态效率——以深圳市为例. *生态学报*, 2007, 27(8): 3124-3131.
- [ 17 ] 吴玉琴, 严茂超, 许力峰. 城市生态系统代谢的能值研究进展. *生态环境学报*, 2009, 18(3): 1139-1145.
- [ 18 ] 刘耕源, 杨志峰, 陈彬, 徐琳瑜, 张妍. 基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例. *生态学报*, 2013, 33(18): 5926-5934.
- [ 19 ] 安佑志. 基于 GIS 的城市生态风险评价——以上海市为例[D]. 上海: 上海师范大学, 2011.
- [ 20 ] 龚建周, 夏北成, 刘彦随. 基于空间统计学方法的广州市生态安全空间异质性研究. *生态学报*, 2010, 30(20): 5626-5634.
- [ 21 ] 李锋, 王如松, 赵丹. 基于生态系统服务的城市生态基础设施: 现状, 问题与展望. *生态学报*, 2014, 34(1): 190-200.
- [ 22 ] 李媛, 王建廷. 基于 GIS 的生态城市规划决策支持系统框架研究——以中新天津生态城为例. *城市*, 2010, (12): 52-57.