

# 基于 LUCC 的城市生态安全研究进展

张 浩<sup>1</sup>, 马蔚纯<sup>1</sup>, HO Hon Hing<sup>2</sup>

(1. 复旦大学环境科学与工程系城市生态规划与设计研究中心, 上海 200433 ;

2. Department of Biology , State University of New York at New Paltz , New Paltz , NY 12561 , USA )

**摘要** 近代工业革命以来特别是二战以后 ,世界范围内城市化发展迅速 ,受城市化驱动的土地利用/覆盖变化 (Land use/ cover change , LUCC )及其环境影响越来越突出 ,不仅对城市生态安全产生了威胁 ,甚至在区域和全球尺度上影响生态系统的结构与功能 ,成为当今地球生态系统平衡与人类社会可持续发展的研究热点。尽管 LUCC 与城市生态安全态势有密切联系 ,然而目前研究中对土地利用变化的驱动机制较为侧重 ,涉及 LUCC 对城市生态安全影响的研究文献仍很缺乏。从城市生态安全的概念辨析入手 ,评述了国内外 LUCC 与城市生态安全响应研究的进展 ,将相关研究分为两个阶段 :即定性和 (半 )定量研究阶段。指出了现有研究在理论体系与研究方法在指导实践中的不足之处 ,即 : (1 )基于 LUCC 城市尺度的生态安全研究的理论体系尚不成熟 ,目前的研究多未结合研究区域 LUCC 的动态特征对城市生态安全状态进行评价 ,因而也难以应用于指导城市生态建设实践 ; (2 )目前的城市土地利用的生态影响实例研究中仍很缺乏采用数学模型、地理信息系统 (GIS )、环境影响评价 (EIA )、生态风险评价技术 (ERA )及政策仿真等手段进行动态化的、多场景 (Multi-Scenarios )模拟分析的综合运用 ,也缺乏对这些研究方法在实践中的应用的比较研究 ; (3 )缺乏从土地利用动态监测、驱动力机制、生态响应等方面进行区域生态安全演变及调控的综合研究 ,现实指导意义有限。在上述工作的基础上 ,探讨了此研究领域未来的发展方向 ,即 : (1 )实现不同研究尺度的紧密结合 ; (2 )多种研究方法的集成运用 ; (3 )基于多学科知识体系的评价方法与指标体系的明细化与合理化。

**关键词** 土地利用/覆盖变化 (LUCC ) ; 城市生态安全 ; 城市化 ; 生态调控

文章编号 :1000-0933 (2007)05-2109-09 中图分类号 :Q14 ,Q988 ,X171.1 文献标识码 :A

## Recent advances in research on LUCC : based urban ecological security

ZHANG Hao<sup>1</sup> , MA Wei-Chun<sup>1</sup> , HO Hon-Hing<sup>2</sup>

1 Research Center for Urban Ecological Planning and Designing , Department of Environmental Science and Engineering , Fudan University , Shanghai 200433 , China

2 Department of Biology , State University of New York at New Paltz , New Paltz , NY 12561 , USA

*Acta Ecologica Sinica* 2007 27 (5) 2109 ~ 2117.

**Abstract** : Worldwide urbanization occurred since the industrial revolution , and this trend is expected to last in the coming decades. Dramatic land use/ cover change (LUCC ) driven by urbanization has been the most prominent force in the degradation of the structure and function of the ecosystems , thus undermining the capacity of the ecosystems to sustain the development of human society. Therefore , LUCC driven by urbanization has recently attracted much attention.

Locally and globally , combined with the knowledge of socio-economic and biophysical sciences , modelling LUCC and its environmental impacts can be employed as a useful tool to assess the adverse or favourable impacts on the ecosystem functions , which are the key foundation for the sustainability of human society and balance of global ecosystems. So far

基金项目 : 复旦大学青年科研基金 (EXH591330 )和复旦大学新进教师启动基金 (CHH1829012 )资助项目

收稿日期 2006-04-02 ; 修订日期 2007-01-23

作者简介 : 张浩 (1973 ~ ) ,男 ,浙江省常山县人 ,博士 ,主要从事城市生态与区域生态规划研究. E-mail :zhokzhok@163.com

**Foundation item** : The project was financially supported by Youth Science Foundation of Fudan University (No. EXH591330 ) and Initial Support Foundation of Fudan University (No. CHH1829012 )

**Received date** 2006-04-02 ; **Accepted date** 2007-01-23

**Biography** ZHANG Hao , Ph. D. , mainly engaged in urban ecology and regional ecological planning. E-mail :zhokzhok@163.com

many efforts have been made to enhance the effectiveness of LUCC models. However , due to the complexity of the interactive systems , it is still difficult to understand , explain , and predict the dynamics and trends of LUCC and its possible ecological consequences. Although there is the close correlation between LUCC and urban ecological security , and the driving forces of land use changes have been well documented , whereas papers of impacts of land use changes on urban ecological security are scarce.

Based on the review of published papers on LUCC and urban ecological security (UES ) , the concept of UES is redefined. Two stages of studies on UES have also been identified : the early qualitative research and the current quantitative research. Furthermore , three aspects worth further studies are emphasized : (1 ) Due to the incomplete theories of UES , the role of LUCC in the integrated assessment of UES was ignored . Therefore , it's still difficult to use LUCC as the guidance to the urban planning and construction ; (2 ) Methods including information technique , mathematical model , GIS , Environmental impact assessment (EIA ) , Ecological risk assessment (ERA ) , and policy analysis were seldom incorporated in the studies of the ecological effects of urban land use. In practice , dynamical simulation and multi-scenarios analysis are expected to serve as the basis for decision-making. Also , the effectiveness of the above integrated methods needs to be assessed to produce the optimized paradigm for the study on urban security ; (3 ) Detection of land use dynamics , mechanism of driving forces , and ecological responses were seldom employed in the comprehensive studies on regional ecological security and ecological control of urbanization. Therefore , such studies have limited practical significance. Finally , future trends of LUCC and urban security studies are discussed : (1 ) Close linkage of LUCC and accompanied ecological consequences at different levels should be achieved , given the widely adopted LUCC monitoring networks by national and international agencies ; (2 ) Application of integrated methods , including GIS , RS , EIA , ERA , spatial analysis , economic models , metabolism models , etc. , should be developed on the basis of explicit case studies ; (3 ) Based on the theories and principles of interdisciplinary sciences , the detailed and rational frameworks for the evaluation methods and indicator systems should be developed .

**Key Words** : land use/ cover change (LUCC ) ; urban ecological security (UES ) ; urbanization ; ecological control

自近代工业革命以来特别是二战以后 ,世界范围内城市化发展迅速 ,西方发达国家城市化进程在 20 世纪 70 年代达到高峰并趋于稳定 ,但发展中国家迅猛的城市化进程仍将持续相当长的一段时期。目前全球城市面积仅占地表面积的 2%<sup>[1]</sup> ,但城市化驱动的 LUCC 表现出多种负向环境效应 ,不仅对城市生态安全产生了威胁 ,甚至在区域和全球尺度上影响生态系统的结构与功能 ,成为当今攸关地球生态系统平衡与人类社会可持续发展的研究热点 ,由此也引发了人们对建设健康、和谐、安全的可持续发展的城市的思考。近 30a 来中国高速增长的经济规模与快速城市化为世界所瞩目 ,然而伴随着高强度的开发活动与土地利用方式的巨大转变<sup>[2-4]</sup> ,我国快速城市化和工业化进程使原本就脆弱的生态脆弱态势也越显突出 ,已对社会发展和区域生态安全构成了严重威胁。本文评述了国内外 LUCC 与城市生态安全的研究发展趋势 ,指出了现有研究在理论体系与研究方法在指导实践中的不足之处 ,并探讨了此领域未来的发展方向 ,以期推动这一新兴学科领域的发展。

## 1 国内外研究进展

### 1.1 城市生态安全概念的形成

20 世纪 80 年代以来生态安全的概念已引起广泛关注 ,既包括水、粮食、资源等特定对象所属的安全状态 ,还涵盖了从城市、区域、国家甚至全球等不同尺度上的生态安全 ,但迄今为止尚未形成被普遍接受的定义。一般认为 ,比较有代表性的生态安全定义包括广义和狭义两个层面。广义的生态安全指人类的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会次序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态 ,包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全 ,狭义生态安全指自然和半自然生态系统的安全 ,即生态系统完整

性和健康的整体水平反映<sup>[5]</sup>。

在生态安全研究的不同层级中,尽管城市生态安全是当今重点关注的研究领域,但由于城市生态系统的复杂性,很难对城市生态安全给出一个明确定义。在总结相关文献基础上<sup>[6~8]</sup>,本文将城市生态安全定义为一定地域范围内的城市与其周边自然支持系统之间形成的长期稳定的反馈调控机制,在预见到人类干扰对自然造成的冲击及其不利后果的基础上,城市人文因素能有效约束和调整人类活动方式,使城市的持续发展能力与生态系统结构与功能的完整性得以维持稳定的状态。

1.2 LUCC 与城市生态安全响应

基于 LUCC 的研究范畴与研究目的,城市生态安全状态实质上体现了人类对自然施加的影响程度以及自然对城市生态系统的反馈作用。城市的发展实际上是一个从破坏和改造自然到逐渐形成人类占主导的生态系统(human-dominated ecosystem)的相对稳定的过程。人类不合理的土地利用方式对自然施加的影响既包括不同尺度上的自然地表面覆盖状况的改变而导致的水文、气候、地质等环境要素发生相应改变的生物物理效应<sup>[9~14]</sup>,还包括以人类社会经济活动为表征的城市代谢活动所产生的废水、废气、固废等污染胁迫效应;反过来,受损的自然生态系统则表现为综合生态服务功能的降低与丧失,进而危及城市赖以生存和发展的生态基础。

根据发生时间和研究内容,国内外城市生态安全研究主要可划分为两个阶段。

1.2.1 定性研究阶段

这方面的工作主要集中于两个方面,即运用自然地理学理论与方法,研究了城市区域下垫面改变和人为热、废气等排放导致的城市气象和气候变化以及城市水文效应、地貌效应、地质效应等对城市居民的生产、生活带来的负面影响,运用经典的生态调查和环境监测方法,通过城市及城市周边动物、植物、微生物区系组成的改变来反映生物对环境胁迫的响应,揭示由于城市化过程导致的环境污染、气候异常等生态安全问题。上述工作主要由欧洲国家较早展开,日本也于 20 世纪 70 年代开展了此类研究工作<sup>[15,16]</sup>。我国在此研究领域较早进行的有影响的系统性研究当属中国科学院植物研究所和中国科学院动物研究所于 20 世纪 80 年代联合开展的京津地区生物生态学研究,阐明了城市化过程中污染对生态系统的影响及生物的生态适应特点<sup>[17]</sup>。总的说来,由于理论和研究技术手段的限制,此阶段的研究工作侧重于定性评价在小尺度上的城市土地利用及其环境影响,尚无法进行大规模的长期定点观测,因而研究结果难以用于覆盖城市及其周边地区的 LUCC 及其环境影响的定量分析。此外,从城市生态安全角度来探讨人为活动及其生态风险的机理性成因的研究工作则比较缺乏。

1.2.2 (半)定量化研究阶段

随着对全球变化及人类自身生存环境的关注,自 1995 年以来,城市化过程中 LUCC 环境效应及其对人类栖境的影响在国际地圈-生物圈计划(IGBP)和国际人文因素计划(IHDP)推动的 LUCC 系列研究中逐渐得到了突出和加强,科学研究关注的重点也从以往单一的生态安全因素逐渐扩展到涵盖多个因素的综合研究领域<sup>[18~21]</sup>。欧美发达国家较早地推动了相关研究工作,相对而言,我国在此研究领域起步较晚。20 世纪 90 年代以来国内相关研究多注重于 LUCC 对气候演变、水文过程、土壤养分循环和生物多样性维持等方面的影响<sup>[22~37]</sup>,也取得了较大的进展。然而,对城市化过程中 LUCC 的环境效应及其对城市生态安全影响的研究只是在近些年来才得到应有的重视。

目前国内外的相关研究工作主要集中于以下几个方面:

在城市大气环境响应方面,研究者主要关注城市气候尤其是热岛效应及空气污染对 LUCC 的响应,指出随着城市扩张过程中下垫面性质的改变,城市热岛的影响范围基本与城市扩展方向一致,受气象因素及城市密集发展的影响,城市群之间污染迁移具备明显的区域特征<sup>[28~34]</sup>。Romero 等<sup>[35]</sup>以智利圣地亚哥市为例,分析了快速城市化过程中土地利用与空气污染的关系,指出不合理的工业布局、长距交通的污染排放及城市周边半干旱地区伐木是导致城市空气污染加剧的主要原因。张浩和王祥荣<sup>[36]</sup>以上海市为例,研究了 LUCC 对

城市空气环境的潜在影响,指出用地类型转变导致的土地覆盖变化将降低区域空气环境的潜在安全水平并增加人类健康损失的潜在机率。

在城市洪灾对 LUCC 响应方面,史培军等<sup>[37]</sup>研究了珠江三角洲地区城市迅速扩张对流域径流及城市防洪压力的影响,指出城镇用地增加和植被破坏是导致城市洪水和水土流失加剧的主要原因。Khan<sup>[38]</sup>基于人工神经网络分析技术对休斯敦的研究指出,城市化地区不透水地面增加是导致城市洪灾的主要原因。在城市水质对 LUCC 的响应方面,岳隽等<sup>[39]</sup>应用统计分析和空间分析方法论证了深圳市 5 个流域 10a 间用地结构变化对相应河流水质的有机物污染有明显的正效影响作用。Ren 等<sup>[40]</sup>及 Yin 等<sup>[41]</sup>研究了上海城市化过程中 LUCC 与水质恶化趋势,指出上海市高强度的土地利用方式及人口密度与河道水质恶化之间存在着显著相关性。

在城市生态损益综合响应方面,相关研究侧重于城市生态安全对 LUCC 的多重响应。20 世纪 90 年代由美国森林协会 (American Forests) 主导进行了旨在评估区域地表覆盖状况改变的生态损益的系列研究。此系列研究基于 GIS/RS 技术,采用“外部成本法 (external cost)”和 TR-55 暴雨径流模型,评估了纽约、亚特兰大、芝加哥和休斯顿等城市从 20 世纪 70 年代至 90 年代末期 LUCC 与区域生态损益情况,指出由于城市扩张导致林地高度覆盖区的比例急剧下降和城市化地区不透水面积的迅速增加,整个区域在植被对空气污染物的净化功能、水文调蓄功能和固碳功能等方面的生态损益亦相应地随之增加<sup>[42~44]</sup>。汤君友等<sup>[45]</sup>、杨志峰<sup>[46]</sup>等基于 GIS 和多期遥感影像图分析了以深圳、无锡、广州等沿海经济地区城镇用地变化特征及其动力机制,并评价了城镇用地变化过程中包括空气污染、城市热岛、水土流失、地面沉降在内的生态环境质量的动态变化。

总的看来,得益于对地观测技术及空间分析方法的逐步完善,此阶段的研究方法侧重于运用地面调查与空间观测技术相结合,从中小尺度揭示城市化驱动的 LUCC 及其环境影响,研究工作较重视 GIS/RS 技术在城市生态风险识别与生态安全评价中的运用,在城市生态安全评价方面也逐渐关注城市群之间在生态影响方面的互动关系,但运用量化技术手段来揭示城市化驱动的 LUCC 对城市生态安全影响的研究仍比较缺乏。

### 1.3 LUCC 与城市生态安全调控手段及其理论实践

西方发达国家较早地经历了城市化过程中的各种环境问题困扰。为摆脱城市化无序蔓延与生态衰退的怪圈,欧美国家先后开展了以促进城市与自然融合为目的生态调控尝试,并付诸于城市规划实践,诸如早期的“田园城市”构思<sup>[47]</sup>、伦敦环城绿带建设<sup>[48]</sup>、“绿色城市”思想<sup>[49]</sup>、绿色廊道运动 (greenways movement)<sup>[50]</sup>、绿色基础设施 (green infrastructure)<sup>[42~44]</sup>,这些都对世界城市发展模式产生了深远的影响。在倡导土地利用效益最大化和生态风险最小化方面,20 世纪 60 年代 McHarg<sup>[51]</sup>进一步发展了生态规划的概念,并发展了经典的生态规划框架,生态规划思想已引起广泛土地管理者、城市规划工作者和自然保护主义者的重视。

国内学者对城市生态问题研究兴起于 20 世纪 80 年代。近年来建设生态型城市已成为我国许多城市实施可持续发展战略的重要内容,天津、长沙、深圳、广州、上海等城市都开展了相应研究<sup>[52]</sup>。随着对城市生态调控机制认识的深入,人们已经从实践中认识到景观生态安全格局对于维系城市与自然和谐共生的重要性。肖笃宁等<sup>[53]</sup>认为,生态安全应关注生态安全格局。景观生态安全格局 (Ecological security pattern) 是近年来形成的术语,是指由景观中的某些关键性的局部、位置和空间联系所构成的,对维护或控制某种生态过程具有很重要意义的景观实体<sup>[53]</sup>。虽然此术语较早前主要应用于生物多样性保护领域,但它也同样适用于城市生态规划领域。我国近些年来城市生态规划实践中已经开始注重生态安全的重要性,如广州<sup>[54]</sup>、上海<sup>[55]</sup>和兰州<sup>[56]</sup>等城市都开展了相应的研究。俞孔坚等<sup>[57]</sup>基于生态基础设施理念,提出了反规划概念,并应用于浙江台州市和北京市城市规划实践。

总的看来,虽然国内外目前对 LUCC 与城市生态安全调控手段及其理论实践的认识还处于逐渐发展阶段,在促进土地的最优化利用和减少生态风险的实践中,生态规划、景观生态安全格局和反规划的理念已逐渐在我国得到应用,由于理论体系尚不成熟以及在具体实践中存在着可操作性不强等问题,在我国城市规划、环境综合整治规划、区域影响评价实践中尚未获得法定地位,因而难以保证其在城市规划与建设中的实施。

2 存在问题分析

在研究层次上,LUCC 研究热点更多的是与全球变化相关的大尺度上的环境响应。国际上对城市 LUCC 与生态安全的系统性研究起步不久,由于研究对象的广泛性、复杂性以及受限于不成熟的理论体系与研究方法,目前开展的科学研究中存在着一些值得深入探讨的问题。

2.1 从理论体系来看

尽管研究者已经认识到 LUCC 对生态安全研究的重要性,但生态安全在目前 LUCC 系列研究中并未得到充分体现<sup>[58]</sup>。由于生态安全的概念形成并不久远,尽管已引起广泛关注,但只是近年来逐渐兴起的新概念和新术语,尚未从原有的学科中形成相对独立的、成熟的理论体系。比如目前的生态安全研究多是针对区域、国家生态安全或农业生态安全状况而言,而以区域单个或多个城市为研究对象,建立完整的、可量化的城市生态安全评价指标体系以及相应的评价模型的用于系统评价城市生态安全的案例研究则较少<sup>[59]</sup>。此外,尽管现有城市生态安全评价指标体系中也使用了一些和土地利用相关的指标<sup>[6,7,60]</sup>,但仍未结合研究区域 LUCC 的动态特征对城市生态安全状态进行评价,也难以从机理上揭示 LUCC 对城市生态安全的影响,因而也难以应用于指导城市生态建设实践。

2.2 从研究方法来看

在与区域生态安全密切相关的 LUCC 研究领域,目前研究热点侧重于 LUCC 驱动力、数量变化、生物物理反馈等方面的模型推演。相对于众多的监测与评价 LUCC 的数量模型而言,对 LUCC 生态影响方面的模型研究仍不够深入。目前用于大尺度上评估人类活动对环境的影响的 IMAGE2.2 模型<sup>[61]</sup>、中国县域生态环境质量评价模型<sup>[62]</sup>以及在实践中广泛运用的专一模型如 USLE、SWAT 等水文模型<sup>[63]</sup>都未能成功地将人类活动尤其是社会、经济驱动因素结合至模型中,而且对于模型参数的确定还较多地受到主观因素尤其是经验模型的影响,故难以较准确地用于评价与预测。例如基于土地利用变化模型的简单场景分析方法预测城市土地利用对非点源污染及水质变化的影响被证实为比较有效<sup>[64]</sup>,但 Conway 和 Lathrop<sup>[65]</sup>对美国新泽西州西南部滨海地区城市化的生态影响建模案例的研究表明,由于评价城市化生态影响的通用土地利用变化政策模型存在着目标体系不确定性,这对于正确评估土地利用变化的生态影响还存在着较多的问题。

迄今国内外学者主要通过景观生态学和地统计学方法对 LUCC 及其生态后果进行研究,虽然对其生态环境效应及其相互作用的机制虽然有所涉及,但多从污染迁移与转化、荒漠化、水土流失等有限的方面展开环境影响研究,然而对于城市化过程中 LUCC 与生态环境相互作用的机理、评价指标体系、预测和评价的技术方法缺乏深入的研究<sup>[66]</sup>。目前国内外学者在区域生态安全研究中也尝试使用主成分分析<sup>[67]</sup>、典型相关分析<sup>[68]</sup>、因子分析<sup>[69]</sup>、多元回归等经典统计学方法或模糊数学评价方法与 RS/GIS 技术集成分析方法<sup>[70,71]</sup>对区域生态安全进行了半定量分析,也取得了较好的效果,但在城市化过程中 LUCC 的生态影响实例研究中仍比较缺乏综合运用数学模型、地理信息系统 (GIS)、环境影响评价 (EIA)、生态风险评价技术 (ERA) 及政策仿真等手段对地表过程与生态影响建模进行动态化的、多场景 (Multi-Scenarios) 模拟分析的案例,也缺乏对这些研究方法在实践中应用的比较研究。

2.3 从现实指导意义来看

在区域尺度或更大尺度上,城市化驱动的 LUCC 受到区域内外各种因素的影响。而目前国内外已开展的实例研究较为有限,并且研究工作多在单个城市或者城镇水平上展开,显然这已无法准确描述当前全球化发展进程中城市社会经济活动驱动的 LUCC 与区域生态安全的关系。应该看到,随着世界范围内城市化进程的加快,城市规模日趋扩张,在大量自然资源流经城市并产生数量恢宏的各种产品的同时,工业生产、交通运输、居民生活等人类活动在不同尺度上影响着生物地化循环过程,这正是人文因素驱动的 LUCC 及其环境影响的本质体现。然而已有的研究多侧重于利用经济学模型和环境影响评价方法对城市代谢活动及其环境影响进行了定量研究,但并未与城市 LUCC 过程相结合,因而难以从特定时空动态尺度上揭示 LUCC 及其环境影响的互动关系,更难以对城市 (群) 发展特征及其环境演化方向进行预测。此外,目前对具体案例城市进行的研

研究中也缺乏从土地利用动态监测、驱动力机制、生态响应等方面进行区域生态安全演变及调控的综合研究,如 Conway 和 Lathrop<sup>[65]</sup>基于控制城市化生态影响的通用土地利用变化模型,以美国新泽西州东南部海滨城市化地区为例,预测了城镇限制发展区(down-zoning)、簇群发展区(cluster development)、湿地/水源缓冲区(wetlands/water buffers)、开敞空间保护(open space protection)这四种土地利用政策可能导致的生态后果,并对模型预测的有效性进行了评估,由于研究中存在的不确定性,使得研究成果与指导具体的规划指导还有相当大的距离。

3 未来发展方向

3.1 实现不同研究尺度的紧密结合

目前基于 LUCC 的城市生态安全研究比较薄弱,因而有必要对于不同类型的城市进行相应研究,积累案例经验及基础研究数据,以便于在不同尺度上开展比较研究。尽管目前看来在不同研究尺度上同时开展受城市化驱动的 LUCC 的生态影响研究比较困难,但近年来国际上围绕数字地球建设开展的诸如 GLCF、EOS 等对地观测平台及数据共享网络的逐步完善,空间数据源获取及研究内容的深度与广度将比以往有更大的突破。因而,未来应侧重于宏观大尺度和中小尺度上两个层面的基础研究,并寻求不同尺度上研究结果的联结。此外,在区域以及更大尺度上,应突破传统的单一城市及城镇的研究范围,更多地考虑全球经济一体化背景下区域城市化发展与经济一体化的联动效应对土地利用转变的影响,进而评估对区域生态安全可能产生的影响,开展包括土地利用动态监测、驱动力机制、生态响应等方面进行区域生态安全演变及调控的综合研究。

3.2 多种研究方法的集成运用

在以城市(镇)为主要对象的具体研究中,为提高研究结果可行性,应借助多种研究技术和手段,基于对案例城市的不同城市规划方案及预想的各种发展规划发展方案进行 LUCC 及其环境效应的情景模拟,综合运用 GIS/RS 手段、空间统计与分析方法以及 EIA、ERA 技术于区域景观格局演变的生态学研究,将水资源消耗预测模型、能源消耗预测模型、经济增长模型等宏观模型与基于 LUCC 的城市空间扩张-生态效应预测模型相耦合,建立城市演化发展及其生态后果的计算机模拟实验系统,模拟在可持续发展约束条件下城市生态系统的演化及其在不同发展模式上可能导致的生态效应及其生态后果,进而对特定城市的生态安全态势及生态安全格局备选模式进行优劣比较,研究结果也才具有可操作性。

3.3 基于多学科知识体系的评价方法与指标体系的明细化与合理化

探索土地利用变化及其环境效应的研究仍有赖于模型评价方法与指标体系的明细化与合理化,这是准确预测研究区域或城市未来土地利用变化及其环境效应的前提和基础。鉴于人类居主导地位的生态系统的复杂性与多样性,对于城市化过程中 LUCC 的环境效应及其对城市生态安全影响的评价模型研究,不仅要重点考虑自然限制因素,还应更多地考虑社会、经济等方面的驱动和影响因素,因而综合评价模型研究方法 with 指标体系的明细化与合理化需要实现地球科学、资源科学、环境科学、经济学、化学、物理学、数学和系统科学等多学科知识体系的交融,发展成熟的评价方法和指标体系,这是一项长期而艰巨的任务,也是未来应重点进行突破的研究方向之一。

References :

[1] Grimm N B , Grove J M , Pickett S T , *et al.* Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems. *Bioscience* ,2000 ,50 ( 7 ) ,571 — 584.

[2] Chen C D , Bao S X. Urbanization in China and the trends of its development. *Acta Ecologica Sinica* ,1994 ,14 ( 1 ) 84 — 89.

[3] Jiang Q , Shintaro G , Hiroki T. LUCC and Accompanied Soil Degradation in China from 1960s to 1990s. *Journal of Geoscience Research NE Asia* , 2002 5 ( 1 ) 62 — 71.

[4] Chen J. Rapid urbanization in China-A real challenge to soil protection and food security. *Catena* 2007 69 :1 — 15.

[5] Xiao D N , Chen W B , Guo F L. On the basic concepts and contents of ecological security. *Chinese Journal of Applied Ecology* 2002 ,13 ( 3 ) :354 — 358.

[6] Shi X Q , Ouyang Z Y. Urban eco-security and its dynamic assessment method. *Acta Ecologica Sinica* ,2005 ,25 ( 12 ) 3237 — 3243.

[7] Zhou W H , Wang R S. Methodology assessment of urban ecological security — A case study of Beijing. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2005 ,16 (12 ) 2284 — 2290.

[8] Chao R M , Chao F. Ancient Ecological Security Consciousness in City Site Selection. *Planners* 2004 20 (10 ) 86 — 89.

[9] Vitousek P M. Beyond Global Warming : Ecology and Global Change. *Ecology* ,1994 75 1861 — 1876.

[10] Houghton R A , Hackler J L , Lawrence K T. The U. S. carbon budget : contribution from land-use change. *Science* ,1999 285 574 — 578.

[11] Sala O E , Chapin F S , Armesto J J , *et al.* Biodiversity : global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* ,2000 287 1770 — 1774.

[12] Foley J A , DeFries R , Asner G P , *et al.* Global consequences of land use. *Science* 2005 309 570 — 574.

[13] Tolba M K , El-Kholy O A. The World Environment 1972 — 1992 : Two Decades of Challenge. London : Chapman & Hall , 1992.

[14] Masek J G , Lindsay F E , Goward S N. Dynamics of urban growth in the Washington DC metropolitan area , 1973 — 1996 , from Landsat observations. *International Journal of Remote Sensing* 2000 21 (18 ) :3473 — 3486.

[15] Zhao Y L , Zhou D S. Urban Ecology. Beijing : Science Press , 2005.

[16] Song Y C , You W H , Wang X R. Urban Ecology. Shanghai : East China Normal University Press , 2000.

[17] Institute of Botany , Chinese Academy of Sciences , Institute of Zoology , Chinese Academy of Sciences. Biological and ecological research in Beijing and Tianjin. Beijing : Ocean Press , 1990.

[18] Turner B L , David S. Land use and land cover change (LUCC ) : Science / Research Plan. IGBP Report No. 35 ,1995.

[19] Alberti M. The Effects of Urban Patterns on Ecosystem Function. *International Regional Science Review* ,2005 28 (2 ) :168 — 192.

[20] Lamprey B L , Barron E J , Pollard D. Impacts of agriculture and urbanization on the climate of the Northeastern United States. *Global and Planetary Change* 2005 49 203 — 221.

[21] Carlson T N , Arthur S T. The impact of land use-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology : a satellite perspective. *Global and Planetary Change* ,2000 25 49 — 65.

[22] Yu X X , Yang G S. The advances and problems of land use and land cover change research in China. *Progresses in Geography* ,2002 21 (1 ) :51 — 57.

[23] Liu S. International research on environmental and ecological consequence of land use and land cover change. *World Forestry Research* 2002 15 (6 ) 38 — 45.

[24] Chen H L , Xu X D , Liu Y J. Review of researches on remote sensing monitoring and impact on environment of land use / cover change. *Meteorological Science and Technology* ,2005 33 (4 ) 289 — 294.

[25] Wang Q H , Shi W L , Wang X Z , *et al.* The landscape spatial pattern analysis of Urumqi River , China. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)* 2002 38 (5 ) 76 — 81.

[26] Liu Y , Wang D , Gao J , *et al.* Land Use / Cover Changes , the Environment and Water Resources in Northeast China. *Environmental Management* , 2005 36 (5 ) , 691 — 701.

[27] Wu X Q , Meng J J. The Land Use / Cover Changes and the Eco-environmental Responses in the Lower Reaches of Tarim River , Xinjiang. *Arid Zone Research* ,2004 21 (3 ) 38 — 43.

[28] Owen T W , Carlson T N , Gillies R R. An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing* ,1998 19 1663 — 1681.

[29] Rao P K. Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society* ,1972 53 647 — 648.

[30] Solecki W D , Oliveri C. Downscaling climate change scenarios in an urban land use change model. *Journal of Environmental Management* 2004 72 105 — 115.

[31] Zhou H M , Zhou C H , Ge W Q , *et al.* The surveying on thermal distribution in urban based on GIS and Remote Sensing. *Acta Geographica Sinica* ,2001 56 (2 ) 189 — 197.

[32] Weng Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta , China. *International Journal of Remote Sensing* 2001 22 (10 ) :1999 — 2014.

[33] Zhang X G , Zhou B , *et al.* Change detection of heat island in Hangzhou City based on Landsat TM6. *Bulletin of Science and Technology* ,2004 20 (6 ) :501 — 505.

[34] Zhang G Z , Xu X D , Wang J Z , *et al.* A study of characteristics and evolution of urban heat island over Beijing and its surrounding area. *Journal of Applied Meteorological Science* 2002 13 (5 ) 43 — 50.

[35] Romero H , Ihl M , Rivera A , *et al.* Rapid urban growth , land-use changes and air pollution in Santiago , Chile. *Atmospheric Environment* ,1999 33 (24-25 ) 4039 — 4047.

[36] Zhang H , Wang X R. Urban land use/cover dynamics of Shanghai metropolitan area and its potential impact on local air environment. *Journal of Fudan University (Natural Science)* 2003 42 (6 ) :925 — 929.

[37] Shi P J , Pan Y Z , Chen J , *et al.* Land use /cover change and environmental security in Shenzhen region. *Journal of Natural Resources* ,1999 4 (4 ) :293 — 299.

[38] Khan S D. Urban development and flooding in Houston Texas ,inferences from remote sensing data using neural network technique. *Environmental Geology* 2005 47 1120 — 1127

[39] Yue J , Wang Y L , Li Z G , *et al.* Spatial-temporal trends of water quality and its influence by land use : a case study of the main rivers in Shenzhen. *Advances in Water Science* ,2006 17 ( 3 ) 359 — 364.

[40] Ren W , Zhong Y , Meligrana J , *et al.* Urbanization , land use , and water quality in Shanghai 1947 — 1996. *Environment International* 2003 29 : 649 — 659.

[41] Yin Z Y , Walcott S , Kaplan B , *et al.* An analysis of the relationship between spatial patterns of water quality and urban development in Shanghai , China. *Computers , Environment and Urban Systems* ,2005 29 ( 2 ) 197 — 221.

[42] American Forests. Regional ecosystem analysis for Chesapeake bay region and the Baltimore-Washington corridor : Calculating the value of nature. *Forests series reports* ,1999.

[43] American Forests. Urban ecosystem analysis for Atlanta Metro Area : Calculating the value of nature. *American Forests series reports* ,2001.

[44] American Forests. Urban ecosystem analysis for the Houston gulf coast region : Calculating the value of nature. *America Forests Series Reports* ,2000.

[45] Tang J Y , Yang S , Zhao R. Researches on the environmental effect of urban land-use change in Wuxi city. *Remote Sensing for Land & Resources* , 2002 3 16 — 18.

[46] Yang Z F , He M C , Mao X Q , *et al.* Sustainable urban ecological planning. Beijing : Science Press 2004.

[47] Zhong X Q. From garden city and landscape city to ecological garden city. *Ecologic Science* 1996 1 75 — 79.

[48] The great London Council. Ecology and nature conservation in London. *Ecology Handbook* 1984 1 6 — 7.

[49] Wang J G. Ecological Principles and Green Urban Design. *Architectural Journal* 1997 7 8 — 12.

[50] Bryant M M. Urban landscape conservation and the role of ecological greenways at local and metropolitan scales. *Landscape and Urban Planning* , 2006 76 23 — 34.

[51] McHarg I L. Design with nature (Chinese Edition ). Beijing : China Architecture & Building Press ,1992.

[52] Wang X R. Ecology and Environment : a new viewpoint on sustainable development of cities and ecological modification. Nanjing : Southeast University Press ,2000.

[53] Yu K J. Security patterns and surface model in landscape planning. *Landscape and Urban Planning* 1996 36 :1 — 17.

[54] Peng G F , Huang D X , Chen Y. Optimizing the spatial structure and improving the city ecological environment. *Urban Plannin* 2004 28 ( 2 ) 33 — 35.

[55] Wang X R , Zhang H , Wang S B , *et al.* On the Construction of Urban Ecological Security Pattern and Strategy Planning — A Case Study of Shanghai , China. In : Zhang HY and Li Q. *China Urban Review (the First edition)* . Nanjing : Nanjing University Press ,2005. 124 — 131.

[56] Fang S B , Xiao D N , An S Q. Regional eco-security pattern in urban area based on land use analysis : a case study in Lanzhou. *Chinese Journal of Applied Ecology* ,2005 16 (12 ) 2284 — 2290.

[57] Yu K J , Li D H , Liu H L , *et al.* Growth pattern of Taizhou city based on ecological infrastructure : a negative approach physical urban planning. *Urban Planning* ,2005 29 ( 9 ) 76 — 80.

[58] Shi P J , Jiang Y , Wang J A , *et al.* Land use/ cover change and its impact on ecological security. Beijing : Science Press ,2004.

[59] Xie H L , Li B. A study on indices system and assessment criterion of ecological security for city. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)* 2004 40 ( 5 ) 705 — 710.

[60] Yang S M , Liu B , Li Y M. Systematic analysis on group megalopolis eco-security. *Scientia Silvae Sinicae* ,2006 42 ( 1 ) 100 — 104.

[61] Image Team. The IMAGE 2.2 implementation of the SRES scenarios : A comprehensive analysis of emissions , climate change and impacts in the 21st century. RIVM CD-ROM Publication 481508018 , Bilthoven : National Institute of Public Health and the Environment ,2001.

[62] China National Environmental Monitoring Center. Study on assessment of China's eco-environmental quality. Beijing : China Environmental Science Press ,2004.

[63] Hao F H , Chen L , Liu C M , *et al.* Impact of land use change on runoff and sediment yield. *Journal of Soil and Water Conservation* 2004 18 ( 3 ) : 5 — 8.

[64] Wang Y , Choi Y , Deal B M. Long-Term Impacts of Land-Use Change on Non-Point Source Pollutant Loads for the St. Louis Metropolitan Area , USA. *Environmental Management* ,2005 35 ( 2 ) :194 — 205.

[65] Conway T M , Lathrop R G. Modeling the Ecological Consequences of Land-Use Policies in an Urbanizing Region. *Environmental Management* , 2005 35 ( 3 ) :278 — 291.

[66] King A W , Johnson A R , O'Neill R V , *et al.* Using ecosystem models to predict regional CO<sub>2</sub> exchange between the atmosphere and the terrestrial biosphere. *Global Biogeochemical Cycles* ,1989 3 337 — 361.

[67] Liu X N , Huang F. Analysis of the regional eco-environmental effect driven by LUCC. *Journal of Northeast Normal University* ,2002 34 ( 1 ) 87 — 92.

[68] Zhang M. A study on the landscape pattern and differentiation of fragile environment in Yulin Prefecture. *Geographical Research* ,2000 19 ( 1 ) 31



—33.

[69] Zhang H , Tang X M , Wang S B , *et al.* Regional Ecological Security of Rapidly Urbanizing Pearl River Delta , China : A Case Study of Foshan City. *Journal of Natural Resources* 2006 21 ( 4 ) 615 — 624.

[70] Brown M T , Vivas M B. Landscape development intensity index. *Environmental Monitoring and Assessment* 2005 101 289 — 309.

[71] Kline J D , Moses A , Alig R J. Integrating urbanization into landscape-level ecological assessments. *Ecosystems* 2001 4 3 — 18.

参考文献：

[2] 陈昌笃, 鲍世行. 中国的城市化及其发展趋势. *生态学报* 1994 14 ( 1 ) 84 ~ 89.

[5] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. *应用生态学报* 2002 13 ( 3 ) 354 ~ 358.

[6] 施晓清, 欧阳志云. 城市生态安全及其动态评价方法. *生态学报* 2005 25 ( 12 ) 3237 ~ 3243.

[7] 周文华, 王如松. 城市生态安全评价方法研究. *生态学杂志* 2005 24 ( 7 ) 848 ~ 852.

[8] 曹润敏, 曹峰. 中国古代城市选址中的生态安全意识. *规划师* 2004 20 ( 10 ) 86 ~ 89.

[15] 赵云林, 邹冬生. 城市生态学. 北京: 科学出版社 2005.

[16] 宋永昌, 由文辉, 王祥荣. 城市生态学. 上海: 华东师范大学出版社 2000.

[17] 中国科学院植物研究所, 中国科学院动物研究所. 京津地区生物生态学研究. 北京: 海洋出版社 1990.

[22] 于兴修, 杨桂山. 中国土地利用/覆被变化研究的现状与问题. *地理科学进展* 2002 21 ( 1 ) : 51 ~ 57.

[23] 刘硕. 国际土地利用与土地覆盖变化对生态环境影响的研究. *世界林业研究* 2002 15 ( 6 ) 38 ~ 45.

[24] 陈怀亮, 徐祥德, 刘玉洁. 土地利用与土地覆盖变化的遥感监测及环境影响研究综述. *气象科技* 2005 33 ( 4 ) 289 ~ 294.

[25] 汪琪华, 施维林, 王兮之, 等. 乌鲁木齐河流域景观空间格局与水资源关系研究. *兰州大学学报 (自然科学版)* 2002 38 ( 5 ) 76 ~ 81.

[27] 吴秀芹, 蒙吉军. 塔里木河下游土地利用/覆盖变化环境效应. *干旱区研究* 2004 21 ( 3 ) 38 ~ 43.

[31] 周红妹, 周成虎, 葛伟强, 等. 基于遥感和 GIS 的城市热场分布规律研究. *地理学报* 2001 56 ( 2 ) 189 ~ 197.

[33] 张新刚, 周斌, 王珂. 杭州市热岛效应的遥感监测. *科技通报* 2004 20 ( 6 ) : 501 ~ 505.

[34] 张光智, 徐祥德, 王继志, 等. 北京及周边地区城市尺度热岛特征及其演变. *应用气象学报* 2002 13 ( 5 ) 43 ~ 50.

[36] 张浩, 王祥荣. 上海城市土地利用/覆盖演变对空气环境的潜在影响. *复旦学报 (自然科学版)* 2003 42 ( 6 ) : 925 ~ 929.

[37] 史培军, 潘耀忠, 陈晋, 等. 深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析. *自然资源学报* 1999 4 ( 4 ) : 293 ~ 299.

[39] 岳隽, 王仰麟, 李正国, 等. 河流水质时空变化及其受土地利用影响的研究——以深圳市主要河流为例. *水科学进展* 2006 17 ( 3 ) 359 ~ 364.

[45] 汤君友, 杨山, 赵锐. 无锡市城镇用地变化及其环境效应研究. *国土资源遥感* 2002 3 16 ~ 18.

[46] 杨志峰, 何孟常, 毛显强, 等. 城市生态可持续发展规划. 北京: 科学出版社 2004.

[47] 钟晓青. 从田园城市、园林城市到生态城市. *生态科学* 1996 1 75 ~ 79.

[49] 王建国. 生态原则与绿色城市设计. *建筑学报* 1997 7 8 ~ 12.

[51] I L 麦克哈格. 设计结合自然. 北京: 中国建筑工业出版社 1992.

[52] 王祥荣. 生态建设论——中外城市生态建设比较分析. 南京: 东南大学出版社 2004.

[54] 彭高峰, 黄鼎曦, 陈勇. 维系“山、城、田、海”空间格局提高城市生态环境质量. *城市规划* 2004 28 ( 2 ) 32 ~ 34.

[55] 王祥荣, 张浩, 王寿兵, 等. 论城市生态安全格局构建与战略规划——以上海市为例. 见: 张鸿雁和李强. *中国城市评论 (第 1 辑)*. 南京: 南京大学出版社 2005. 124 ~ 131.

[56] 方淑波, 肖笃宁, 安树青. 基于土地利用分析的兰州市城市区域生态安全格局研究. *应用生态学报* 2005 16 ( 12 ) 2284 ~ 2290.

[57] 俞孔坚, 李迪华, 刘海龙, 等. 基于生态基础设施的城市空间发展格局——“反规划”之台州案例. *城市规划* 2005 29 ( 9 ) 76 ~ 80.

[58] 史培军, 江源, 王静爱, 等. 土地利用/覆盖变化与生态安全响应机制. 北京: 科学出版社 2004.

[59] 谢花林, 李波. 城市生态安全评价指标体系与评价方法研究. *北京师范大学学报 (自然科学版)* 2004 40 ( 5 ) 705 ~ 710.

[60] 杨时民, 刘兵, 李玉文. 组团式城市群生态安全系统分析. *林业科学* 2006 42 ( 1 ) 100 ~ 104.

[62] 中国环境监测总站. 中国生态环境质量评价研究. 北京: 中国环境科学出版社 2004.

[63] 郝芳华, 陈利群, 刘昌明, 等. 土地利用变化对产流和产沙的影响分析. *水土保持学报* 2004 18 ( 3 ) 5 ~ 8.

[67] 刘湘南, 黄方. 土地利用变化驱动下的区域生态环境退化机制分析. *东北师范大学报 (自然科学版)* 2002 34 ( 1 ) 87 ~ 92.

[68] 张明. 榆林地区脆弱生态环境的景观格局与演化研究. *地理研究* 2000 19 ( 1 ) 31 ~ 33.

[69] 张浩, 汤晓敏, 王寿兵, 等. 珠江三角洲快速城市化地区生态安全研究——以佛山市为例. *自然资源学报* 2006 21 ( 4 ) 615 ~ 624.