

DOI: 10.5846/stxb201802270395

陈利顶, 景永才, 孙然好. 城市生态安全格局构建: 目标、原则和基本框架. 生态学报, 2018, 38(12): - .

Chen L D, Jing Y C, Sun R H. Urban eco-security pattern building: targets, principles and basic framework. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12): - .

城市生态安全格局构建: 目标、原则和基本框架

陈利顶^{1,2,*}, 景永才^{1,2}, 孙然好¹

1 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:随着人口增长和经济快速发展,城市化已经成为人类社会发展的必然趋势。快速城市化必将导致生态用地流失、生态系统服务下降和环境健康风险加剧,由此影响到城市生态安全。尽管生态安全的概念已经为社会广泛接受,但对生态安全的内涵和如何构建生态安全格局仍然缺乏统一认识。本文在分析生态安全内涵、生态安全概念辨析和生态安全格局构建基本原则基础上,结合城市生态系统特点,提出了城市生态安全格局构建的目的、基本原则和基本框架。认为城市生态安全格局构建是一个涉及多尺度的区域性、综合性问题,除了要遵循生态安全格局构建的一般性原则外,还必须考虑以下原则:以人为本原则、流域适应原则、区域协调原则和有限目标原则。同时,需要重点关注宏观与微观尺度之间的关系协调、城市内部与外部之间的关系协调、理想与现实目标之间的权衡、人类生存需求与生态服务需求之间的权衡关系。通过城市生态安全格局构建,需要实现以下目标:控制城市化过程中出现的问题、维持城市地区正常的物质循环与代谢功能、维持城市生态系统健康运行与可持续发展、保证城市人居环境健康和居民的正常生活,以及满足现有城市居民可预见时期内生态服务需求。最后,从景观、城市和区域三个尺度上,分析了城市生态安全格局构建需要面对的实体、解决的问题和实现的目标。

关键词:生态安全;城市生态安全;安全格局构建;生态系统服务

Urban eco-security pattern building: targets, principles and basic framework

CHEN Liding^{1,2,*}, JING Yongcai^{1,2}, SUN Ranhao¹

1 *Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China*

2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

Abstract: With the rapid growth of population and the rapid development of economic in China, urbanization has become an inevitable trend in the development of human society. Inevitably, the rapid urbanization has caused the loss of ecological land, the decline of ecosystem services and the risks of environmental health, thereout, all the facts has been influencing the eco-security of the urban. Although the concept of ecological security has been widely accepted by the society, people still lack of unified understanding of the connotation of ecological security and how to build an ecological security pattern. In this paper, combining the characteristics of urban ecosystem, the objectives, basic principles and framework for the construction of urban ecological security pattern are put forward based on analyzing the connotation of ecological security, distinguishing the concept of ecological security and building the basic principles and objectives of the urban eco-security pattern. The construction of urban ecological security pattern is a multi-scale regional comprehensive problem. In addition to following the basic principle of the construction of the eco-security pattern, the following four aspects should be considered: the people-oriented principle, the watershed adaptation principle, the regional coordination principle and the limited goal in principle. At the same time, it is necessary to pay close attention to the coordination between the macro and micro scales, the coordination between the urban areas and the nonmetropolitan areas, the trade-off between the ideal and the realistic

基金项目:国家重点研发计划重点专项(2016YFC0503000);国家自然科学基金项目(41590841)

收稿日期:2018-02-27; **修订日期:**2018-05-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liding@cees.ac.cn

goal, and the trade-off between the needs of human existence and the needs of ecological services. The following goals must be achieved by the construction of urban eco-security pattern: a) Solving the problems in the process of urbanization. b) Maintaining the normal material circulation and metabolism in urban areas. c) Maintaining the healthy operation and sustainable development of urban ecosystems. d) Ensuring the urban residential environment health and normal life of residents. e) Meeting the ecological service needs of the urban residents in the foreseeable period. At last, we analyze the entities, problems and goals in the construction of urban security pattern from the three spatial scales of landscape, city and region.

Key Words: eco-security; urban eco-security; eco-security pattern design, ecosystem services

随着人口急剧增长和经济快速发展,城市化已经成为人类社会发展的必然趋势,然而快速城市化必将导致生态用地流失、生态系统服务下降和环境健康风险加剧,由此会影响到城市生态安全^[1-2]。城市化在带给人类现代文明丰硕成果同时,也伴随着前所未有的挑战,如:城市交通拥堵、热岛效应、雨洪效应、雾霾效应、面源污染等^[3-5],但城市又被认为是满足人类生存环境需求、经济和社会发展需求,降低生态资产消耗最为经济、高效的手段。如何实现城市生态安全和城市生态系统的健康发展成为目前摆在人类社会所面临的重大问题^[6]。生态安全一般指人的生活、生产、健康、休闲娱乐所需要的自然环境资源和人类适应生态环境变化的能力没有受到威胁的状态^[7-8],不仅受到区域水土流失、土地退化和区域环境地质灾害的影响,也与城市内涝、雾霾、热岛效应和交通拥堵密切相关。随着我国经济快速发展和城市居民生活水平提高,城市生态安全格局构建也成为目前关注的热点问题^[9-11]。然而城市生态安全的内涵是什么?城市生态安全格局如何构建?目前还缺乏统一认识。

1 生态安全内涵与概念辨析

1.1 生态安全内涵

广义上,安全是指“不受威胁,没有危险、危害、损失”,安全问题直接关系到人类社会的生存与社会可持续发展。生态安全是指人类活动没有受到外来自然环境变化的影响,或者满足人类生活、生产和休闲娱乐的能力未受到严重影响。目前在生态安全研究方面,主要侧重于理论研究和定性评价,如何开展生态安全格局构建的实例研究相对比较缺乏^[12-17]。作为一个复杂的综合性概念,生态安全的内涵主要有两个方面:

(1)空间上的生态平衡与环境要素协调。包括三方面含义:第一,立地尺度上的要素协调与平衡,要求在开展生态恢复与安全格局构建时,必须考虑所使用的生物或工程措施与当地的环境背景和生态环境要素相协调,否则任何人为干扰均会对区域生态安全带来负面影响;第二,空间尺度上的过程协调与平衡,在构建生态安全格局时,必须考虑空间尺度上的生态过程完整性是否会因人为干扰而遭到破坏,同时也需要考虑空间尺度上生态系统的合理配置与优化;第三,时间尺度上的可持续性与动态适应能力,即任何生态恢复措施带来的后果在一定时间尺度上是否具有可持续性?是否可以适应未来一段时间内的环境变化?

(2)人类社会的欲望需求与生态系统(自然)服务供给之间的协调与平衡。只有当人类社会对自然的索取和需求与自然生态系统可提供的服务达到协调与平衡时,或者自然生态系统提供的服务远大于人类社会对生态安全的需求时,此时的人地关系才会处于和谐状态,在一定程度上属于安全的状态。

1.2 生态安全概念辨析

(1)生态安全的特点:生态安全作为与人类活动密切相关的概念,主要有以下特点^[8, 18]:①综合性:生态安全涉及到许多方面,每个方面又包含了许多影响因素,因此从单个要素(方面)研究生态安全均是不全面的,也是不现实的。②区域性:针对不同地区和不同对象,因为涉及到的问题不同,生态安全表现形式和实现途径将会不同,生态安全带有很强的区域特色;其次,生态安全涉及到区域生态过程,为了保证生态过程的完

整性,必须从区域/流域尺度考虑实现生态安全的途径和措施。③相对性:生态安全是相对的,自然界没有绝对的生态安全,不同发展阶段人类对生态安全的理解 and 需求不同,我们所设想的生态安全格局也是在一定时段内有效。④动态性:随着时间和环境因素变化生态安全状态会受到影响。一个处于安全状态的生态系统可能因为人类不合理利用或者突发自然灾害而变得不安全;反之,一个退化的生态系统也可经过人工治理、改造或自然修复从而转变为健康的安全状态。生态安全的这些特点决定了生态安全的复杂性,由此导致实现完全的、永久的生态安全十分困难。

(2)生态安全格局构建:生态安全强调自然和生态平衡,但生态安全的目的是为了人类生存,需要做到人地和谐共处;因此,生态安全必须以人类生存与社会可持续发展为前提,去探讨生态系统保护与人类活动的配置关系。但生态安全是一个抽象的概念,涉及到社会、经济与自然生态系统的方方面面,本质上它是一个理想的、很难实现的社会发展的长远目标,目前针对生态安全的定性评价工作较多^[15-16, 19],很难阐述清楚这些结果的具体含义。生态安全格局构建是为了实现生态安全目标而采取的具体措施^[20-21],因此,生态安全格局构建需要针对现实的具体问题,必须设定有限的目标;否则,生态安全格局构建很难把握,也无法落实和执行;目前在生态安全格局构建方面,多是基于 PSR 定性评价提出的抽象的生态安全格局^[11, 15, 19, 22-23],缺乏与具体问题相关联的实证性研究^[12, 24-26],或者基于定性评价针对单一问题提出的生态安全格局^[13, 27-30]。生态安全格局构建必须以生态过程为主导,通过生态恢复措施的合理配置达到修缮和维持生态过程的完整性,因此生态安全格局构建所涉及到的空间单元需要与生态过程发生的生态空间相一致;由此关注的问题或者生态过程不同,需要考虑的生态空间也存在差异。生态安全格局构建是一项具体的工程,涉及到生态恢复和区域景观格局的优化配置。

(3)生态安全保障:生态安全保障与生态安全格局构建既有联系,也有区别。它是多方面的、综合性的,但更侧重于管理和政策方面的研究,属于战略层面的研究内容。生态安全保障更多关注理论层面的研究内容,需要政府在政策、法规和资金方面提供足够的保障;此外,生态安全保障是为了实现区域生态安全,提出宏观的战略性规划,需要通过生态恢复和生态安全格局构建去贯彻执行。生态安全保障需要首先制定一个宏观的战略规划,即纲领性的文件,同时需要结合生态安全需求,针对未来可能出现的生态安全问题提出预警^[22, 31]及其应对方案;在此基础上,进一步制定符合国家生态安全战略的政策和法规;之后需要根据国家发展战略目标,提出切实可行的资金保障策略和途径。

(4)国家/部门/区域生态安全:国家生态安全战略需要各部门的积极配合,部门生态安全方案需要以国家生态安全战略为准则;仅考虑部门的生态安全配置是片面的,无法保障国家生态安全战略的实施;国家生态安全与部门生态安全是部门之间的隶属关系,实现国家生态安全目标,需要各部门做好各自工作,不能因为部门问题的发生而影响到国家生态安全战略的实施。国家生态安全与区域/流域生态安全是空间尺度之间的包含关系,区域生态安全格局构建需要考虑国家尺度的宏观背景,即国家生态安全的战略需求,而国家生态安全战略需要落实到各区域或流域尺度的具体生态恢复工程和格局优化配置模式。

2 城市生态安全格局构建的目的

生态安全格局构建本质上是为了保障人类社会的生存需求,由此需要通过安全格局构建实现以下目标^[18, 21, 26]:一是保护和恢复区域生物多样性。据 Constanza 等^[32]研究认为,目前地球上提供的生态系统服务价值高达 3.3×10^{13} 美元,要高于全球国民生产总值 1.8×10^{13} 美元。因此,生态安全格局构建的目的也是为了保护和恢复区域生物多样性,为人类社会的可持续发展提供物质基础。二是维持生态系统结构和过程的完整性。尽管生态安全是从人类生存与社会经济可持续发展角度出发,但它与生态系统的结构与功能密不可分。因此生态安全格局构建必须以维持生态系统结构和过程的完整性作为最基本需求,否则为人类社会提供物质产品的生态资产基础将会受到破坏。三是要实现对区域生态环境问题有效控制和持续改善。生态安全格局构建的根本目的是为了控制区域环境灾害的发生,减缓其对人类社会的影响;因此在生态安全格局构建时,需

要重点考虑特定地区存在的突出问题和生态风险,通过针对性的措施和格局设计,来控制可能发生的环境地质灾害和人类社会面临的风险。

城市生态系统是以人类活动为主导、依靠外部能源输入的开放型生态系统,同时也是人类社会生产生活的主要场所。城市生态安全格局构建的目的必须以满足人类的生存需求为主要目的,具有其本身的特殊性^[33-36]。一般而言,城市生态安全是指在快速城市化过程中,城市生态系统及其组分能够维持自身的结构和功能,支撑城市的健康与可持续发展,同时避免人类不期望的生态环境事件的发生^[34]。城市生态安全格局构建的目的就是通过生态恢复和城市改造,提高城市人居环境质量、增强城市生态系统韧性、保障城市生态系统服务能力。具体包括以下方面:

(1)控制城市扩张和发展中出现的问题:目前城市化过程中带来的一系列问题成为困扰城市居民生活和城市健康发展的突出问题,如交通拥堵、城市热岛、城市内涝、大气雾霾、环境污染等,这些问题成为影响城市生态安全的关键问题。城市生态安全格局构建的目的就是要及时控制城市扩张过程中出现的生态环境问题,实现城市人居环境质量和生态服务功能的提高,保障城市居民的生活与生存的需求。

(2)维持城市地区正常的物质循环与代谢功能:城市是否处于健康和状态,一个关键的指标就是城市地区的物质循环和代谢功能是否处于正常。城市生态安全格局构建的目的就是要通过城市规划、功能区调整和生态用地配置,来实现城市地区物质良性循环和代谢功能的正常发挥。城市物质循环和代谢功能包括基本生态单元上的,也包括功能区之间和行政区之间的,而不同类型的物质循环与代谢功能会体现在不同尺度上。因此,城市生态安全格局构建需要针对具体问题,考虑具体的研究对象和需要解决的具体的问题。

(3)维持城市生态系统健康运行与可持续发展:城市生态系统的健康运行和可持续发展是人类社会发展的终极目标,而作为人类生活生产的主要场所,城市生态安全格局构建的目的之一就是要通过适当的结构调整和功能提升,来实现城市生态系统的健康运行和可持续发展。为此,城市生态安全格局构建时,必须把城市生态系统的完整性和可持续性作为主要目标,通过生态用地的恢复和优化调整,实现城市生态系统的结构优化和功能提升,提高城市生态系统的韧性和生态服务能力。

(4)保证城市人居环境健康和居民的正常生活:作为人类社会的栖息环境,城市生态安全格局构建不能破坏和影响现有城市人居环境和城市居民的正常生活。但可以通过正常的结构调整和功能疏解,来缓解特定功能区的人口压力和物质循环过程。因此城市生态安全格局构建是一个区域性的问题,涉及到具体功能单元的城市生态系统的结构优化,也涉及到建成区的结构和功能优化,同时也涉及到不同区域之间的结构调整和功能优化。需要从更大的尺度上考虑城市生态安全格局的构建,来保障城市居民的正常生产与生活需求。

(5)满足现有城市居民可预见时期内生态服务需求:生态安全是一个综合性的、长远的社会发展目标,而生态安全格局构建需要针对具体问题,设定有限目标,必须考虑其实用性和适应性。因此,城市生态安全格局构建需要考虑城市居民的实际需求,特别是一定时期内对生态服务的需求。即在解决现有城市问题时,必须考虑所采取的措施是否可以同时解决城市居民在未来一段时期内的实际需求。

3 城市生态安全格局构建的基本原则

城市生态安全构建是在区域生态安全基础上针对城市生态系统面临的特殊问题开展的,而区域生态安全则是实现城市生态安全的基础,两者具有密不可分的联系。因此城市生态安全格局构建时也需要遵循生态安全格局构建的基本原则。

3.1 生态安全格局构建的一般原则

生态安全格局涉及到多尺度和多方面的因素,通常情况下,生态安全格局构建需要遵循以下基本原则^[18, 21]:

(1)生态系统完整性:生态安全是一个区域性问题,需要考虑区域的生态完整性。任何一个生态系统结构和功能的变化均会影响到区域生态安全,因此需要从区域/流域尺度考虑生态安全格局构建,即需要考虑区

域生态系统的结构完整性、过程完整性和功能完整性。为此,生态安全格局构建需要从区域生态系统出发,考虑区域/流域尺度生态恢复措施和生态系统的优化配置。

(2)动态适应性:生态安全内涵体现在人-地之间的关系协调,因此在构建区域生态安全格局时,必须考虑所采取的各种措施的适宜性和协调性,既要考虑人-地关系的协调,也要考虑植被恢复措施与土壤、地貌等自然要素之间的协调性;既要考虑立地尺度上要素之间的协调性,也要考虑空间尺度上生态系统配置的协调性;与此同时还需要考虑一定时段内,生态恢复措施的适应性。

(3)多尺度性:生态安全涉及到多种尺度,不仅需要考虑到立地尺度上的生态恢复措施与生态建设,也需要考虑流域或区域尺度上的生态系统配置和格局优化。由于影响生态系统的因子在不同尺度上存在较大差异,所面临的问题也有所不同,因此在开展生态安全格局构建时,需要针对不同尺度上存在的突出问题,开展有针对性的设计。与此同时,还需要考虑尺度之间的协调性。

(4)问题针对性:生态安全虽是综合的,但具体到某一地区,需要针对具体问题,抓住主要矛盾,进行有针对性的生态恢复与安全格局构建。需要针对不同地区设计适宜该区的生态安全格局和生态恢复措施;其次,需要结合不同地区存在的具体问题,提出有针对性的措施;与此同时,还需要考虑这一地区人类活动的特点和人类社会发展的需求。

3.2 城市生态安全格局构建需要遵循的原则

城市生态安全格局构建除了需要遵循一般性原则外,还需要针对城市生态系统特点,遵循以下原则:

(1)以人为本原则:城市成为人类生存栖息的环境,生态安全构建必须以满足人类的生存需求为主要目的。人类是城市生态系统的干预者,也是城市建设的参与者与受益者,因此人类也将是城市生态安全格局构建的直接主导者,需要在生态安全格局构建时,全方位考虑人类社会的需求。本质上,所有与城市生态安全有关问题的出现均是人类社会直接干预的结果,这些问题的解决也需要人类的直接参与。因此城市生态安全格局构建需要以人为本,以解决城市发展和人类社会面临的突出问题作为首要目的。

(2)流域适应原则:城市的生态安全必须放在流域/区域尺度上考虑,城市发展离不开水资源的供给,而大江大河通常成为推动城市起源和发展的重要基础,而与水文过程密切相关的问题均涉及到流域。因而,城市生态安全格局构建,也需要考虑城市所在的流域的环境背景和生态系统特点。流域内水资源开发、水生态保护与水生态红线的划定均会影响到城市的发展和生态安全。因此城市生态安全格局构建需要将城市放在流域的大背景下去思考生态用地的配置和景观格局优化。

(3)区域协调原则:城市是一个人为主导的、开放的生态系统,需要从周边邻近区域获得物质、能量的输入来满足城市的发展需求,同时也需要周边区域生态系统来消化、容纳城市生态系统排放出来的各种废物。城市与周边区域之间通过近、远程的物质、能量和人类的耦合而形成一个复杂的网络,城市发展离不开周边区域的支持,周边区域的发展也需要城市的带动作用。因而在构建城市生态安全格局时必须考虑城市与区域之间的耦合作用关系。明确城市与周边区域之间的各自功能定位,从而找到适合城市发展和满足生态安全的策略和途径。

(4)有限目标原则:人的需求是无限的,随着城市发展和人类生活水平提高,城市生态安全的目标会逐渐提高,因此在构建城市生态安全格局时必须根据现阶段所遇到的突出问题和未来一段时间内人类社会发展的需求而设定目标,否则很难将生态安全格局落到实处。此外,人类的智慧是无限的,随着科技进步,人类改造自然的能力在不断提高,可以用来满足城市发展和生态安全需求的手段和技术会得到不断发展,因此不同时期,满足生态安全格局构建的方法和途径也会不同,因此城市生态安全格局构建可以满足一定时期的社会发展需求即可。

4 城市生态安全格局构建的基本框架

城市生态安全强调生态系统对城市生存、发展的保障职能^[34]。而城市生态安全格局强调城市生态安全

的空间存在形式,是指城市复合生态系统中某种潜在的空间格局,由一些点、线、面的生态用地及其空间组合构成,对维护城市生态平衡和重要生态服务功能起着关键性作用的景观格局^[11, 25, 37]。城市生态安全格局构建需要从三个尺度上考虑,不同尺度上面临的对象不同,需要实现的目标和需要解决的问题也存在差异(图1)。

(1)景观尺度:需要关注的重点对象是建筑物空间布局及其立体空间利用,以及小区内蓝绿景观合理配置和小区微景观设计、立体绿化;需要关注的问题包括大气循环与热舒适度、景观宜人性、环境噪声等,而需要实现的目标包括:提高环境舒适度,消除环境噪声、保障人居环境健康。

(2)城市尺度:需要关注的重点对象是城市功能区类型及其空间布局、生态用地类型、面积及其空间格局;而需要关注的重点问题包括空气/土壤污染、城市内涝、热岛效应、交通拥堵和居民休闲服务需求;需要实现的目标有:功能区优化布局、环境灾害控制、生态系统服务提高等。

(3)区域尺度:需要关注的重点对象是行政区单元、生态用地及重要生态功能区;而需要关注的重点问题有:生态系统服务权衡与区域供需平衡,生态用地配置与生物多样性保护、环境地质灾害控制、城市生态系统退化;需要实现的目标包括功能区空间优化、区域生态服务供需平衡、生态保护红线设定与区域内外之间的良性互动。

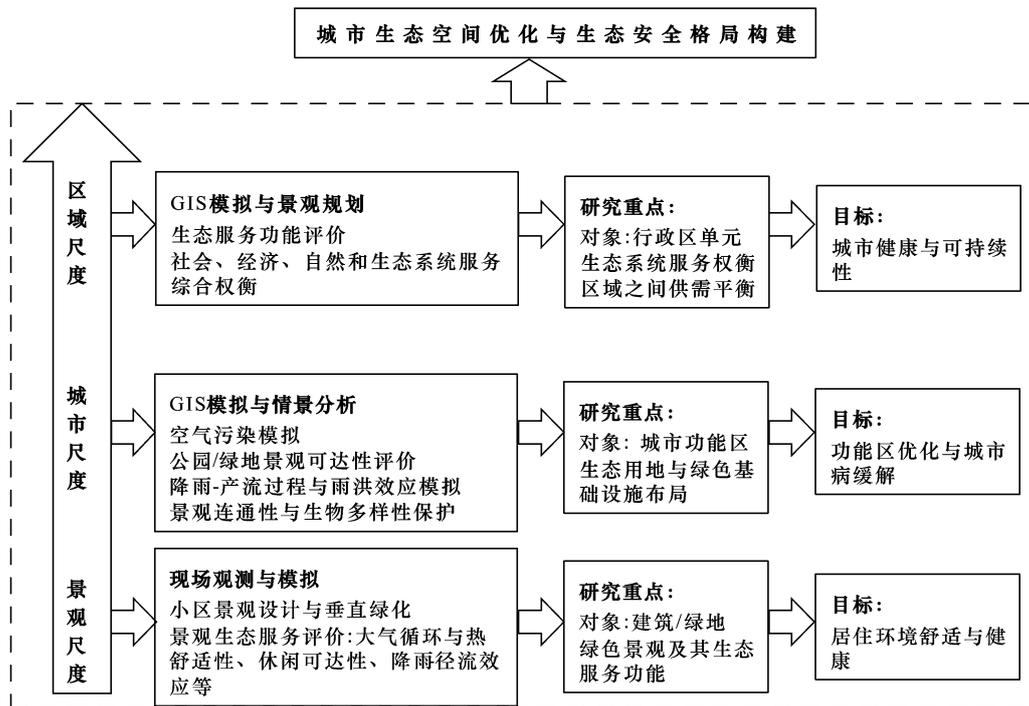


图1 城市生态安全格局构建基本框架

Fig.1 The basic framework of urban eco-security pattern construction

5 结语

生态安全已经成为社会大众广为关注的话题。生态安全既涉及到大尺度的区域生态环境问题,也涉及到人们日常生活的细节问题,如生活中的水质安全、人居环境健康等,但不同群体对生态安全有不同的理解。本质上,生态安全强调自然和生态平衡,涉及到社会、经济与自然等方面的因素和问题,它也是很难实现的、长远的社会发展目标。生态安全格局是一个相对的、阶段性生态实践工程,因此生态安全格局构建必须以生态过程为主导,以过程涉及的空间为基本单元,必须针对现实的具体问题,设定有限目标。通常生态安全格局构建需要遵循以下四个基本原则:生态系统完整性、动态适应性、多尺度性和问题针对性。

城市作为人类主导的社会-自然-经济复合生态系统,是一个依靠外部物质和能量输入的开发型的系统。城市生态安全格局构建是一个多尺度、综合性的区域问题,需要重点关注以下问题:宏观与微观尺度之间的关系协调、城市内部与外部之间的关系协调、理想与现实目标之间的权衡、人类生存需求与生态服务需求之间的权衡。在进行城市生态安全格局构建时,除了遵循生态安全格局构建的一般性原则外,还必须考虑以下 4 个基本原则:以人为本、流域适应、区域协调和有限目标原则。而城市生态安全格局构建的目标包括:控制城市化过程中出现的问题、维持城市地区正常的物质循环与代谢功能、维持城市生态系统健康运行与可持续发展、保证城市人居环境健康和居民的正常生活和满足现有城市居民可预见时期内生态服务需求。城市安全格局构建需要从景观、城市和区域三个尺度上进行思考,需要解决的问题、实现的目标和可使用的手段。

参考文献 (References):

- [1] Gong J Z, Liu Y S, Xia B C, Zhao G W. Urban ecological security assessment and forecasting, based on a cellular automata model: a case study of Guangzhou, China. *Ecological Modelling*, 2009, 220(24): 3612-3620.
- [2] Han B L, Liu H X, Wang R S. Urban ecological security assessment for cities in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region based on fuzzy and entropy methods. *Ecological Modelling*, 2015, 318: 217-225.
- [3] 曹琦, 陈兴鹏, 师满江. 基于 DPSIR 概念的城市水资源安全评价及调控. *资源科学*, 2012, 34(8): 1591-1599.
- [4] 陈利顶, 孙然好, 刘海莲. 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展. *生态学报*, 2013, 33(4): 1042-1050.
- [5] 程鹏, 黄晓霞, 李红春, 李霞, 张琳. 基于主客观分析法的城市生态安全格局空间评价. *地球信息科学学报*, 2017, 19(7): 924-933.
- [6] 陈利顶, 周伟奇, 韩立建, 孙然好. 京津冀城市群地区生态安全格局构建与保障对策. *生态学报*, 2016, 36(22): 7125-7129.
- [7] 高长波, 陈新庚, 韦朝海, 彭晓春. 区域生态安全: 概念及评价理论基础. *生态环境*, 2006, 15(1): 169-174.
- [8] 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.
- [9] 付士磊, 时泳, 石铁矛. 基于景观异质性的城市生态安全格局构建. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(S2): 130-132.
- [10] 施晓清, 赵景柱, 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.
- [11] 王琦, 付梦娣, 魏来, 韩煜, 史娜娜, 李俊生, 全占军. 基于源汇理论和最小累积阻力模型的城市生态安全格局构建——以安徽省宁国市为例. *环境科学学报*, 2016, 36(12): 4546-4554.
- [12] Huang H, Chen B, Ma Z Y, Liu Z H, Zheng S L, Yu W W, Liao J J, Hu W J, Du J G, Chen G C. Assessing the ecological security of the estuary in view of the ecological services: a case study of the Xiamen Estuary. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 137: 12-23.
- [13] Pei L, Du L M, Yue G J. Ecological security assessment of Beijing based on PSR model. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2: 832-841.
- [14] 康相武, 刘雪花, 张爽, 马欣. 北京西南地区区域生态安全评价. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2846-2852.
- [15] 李中才, 刘林德, 孙玉峰, 崔金荣. 基于 PSR 方法的区域生态安全评价. *生态学报*, 2010, 30(23): 6495-6503.
- [16] 蒙吉军, 赵春红, 刘明达. 基于土地利用变化的区域生态安全评价——以鄂尔多斯市为例. *自然资源学报*, 2011, 26(4): 578-590.
- [17] 任志远, 刘焱序. 基于价值量的区域生态安全评价方法探索——以陕北能源区为例. *地理研究*, 2013, 32(10): 1771-1781.
- [18] 陈利顶, 郭书海, 姜昌亮. 西气东输工程沿线生态系统评价与生态安全. 北京: 科学出版社, 2006.
- [19] 陶晓燕. 资源枯竭型城市生态安全评价及趋势分析——以焦作市为例. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(2): 53-59.
- [20] 黎晓亚, 马克明, 傅伯杰, 牛树奎. 区域生态安全格局: 设计原则与方法. *生态学报*, 2004, 24(5): 1055-1062.
- [21] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 关文彬. 区域生态安全格局: 概念与理论基础. *生态学报*, 2004, 24(4): 761-768.
- [22] 马世五, 谢德体, 张孝成, 彭正涛, 洪惠坤, 罗卓, 肖玖金. 三峡库区生态敏感区土地生态安全预警测度与时空演变——以重庆市万州区为例. *生态学报*, 2017, 37(24): 8227-8240.
- [23] 彭建, 郭小楠, 胡熠娜, 刘焱序. 基于地质灾害敏感性的山地生态安全格局构建——以云南省玉溪市为例. *应用生态学报*, 2017, 28(2): 627-635.
- [24] Li X B, Tian M R, Wang H, Wang H, Yu J J. Development of an ecological security evaluation method based on the ecological footprint and application to a typical steppe region in China. *Ecological Indicators*, 2014, 39: 153-159.
- [25] 刘洋, 蒙吉军, 朱利凯. 区域生态安全格局研究进展. *生态学报*, 2010, 30(24): 6980-6989.
- [26] 彭建, 赵会娟, 刘焱序, 杜悦悦. 区域水安全格局构建: 研究进展及概念框架. *生态学报*, 2016, 36(11): 3137-3145.
- [27] Peng J, Pan Y J, Liu Y X, Zhao H J, Wang Y L. Linking ecological degradation risk to identify ecological security patterns in a rapidly urbanizing landscape. *Habitat International*, 2018, 71: 110-124.
- [28] Su Y X, Chen X Z, Liao J S, Zhang H G, Wang C J, Ye Y Y, Wang Y. Modeling the optimal ecological security pattern for guiding the urban constructed land expansions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 19: 35-46.

- [29] 杜悦悦, 胡熠娜, 杨旸, 彭建. 基于生态重要性和敏感性的西南山地生态安全格局构建——以云南省大理白族自治州为例. 生态学报, 2017, 37(24): 8241-8253.
- [30] 杨姗姗, 邹长新, 沈渭寿, 沈润平, 徐德琳. 基于生态红线划分的生态安全格局构建——以江西省为例. 生态学杂志, 2016, 35(1): 250-258.
- [31] Li Y F, Sun X, Zhu X D, Cao H H. An early warning method of landscape ecological security in rapid urbanizing coastal areas and its application in Xiamen, China. *Ecological Modelling*, 2010, 221(19): 2251-2260.
- [32] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [33] 江源通, 田野, 郑拴宁. 海岛型城市生态安全格局研究——以平潭岛为例. 生态学报, 2018, 38(3): 769-777.
- [34] 任西锋, 任素华. 城市生态安全格局规划的原则与方法. 中国园林, 2009, 25(7): 73-77.
- [35] 张浩, 马蔚纯, Ho H H. 基于 LUCC 的城市生态安全研究进展. 生态学报, 2007, 27(5): 2109-2117.
- [36] 张小飞, 李正国, 王如松, 王仰麟, 李锋, 熊侠仙. 基于功能网络评价的城市生态安全格局研究——以常州市为例. 北京大学学报: 自然科学版, 2009, 45(4): 728-736.
- [37] 彭建, 赵会娟, 刘焱序, 吴健生. 区域生态安全格局构建研究进展与展望. 地理研究, 2017, 36(3): 407-419.