

· 生态保护红线专题 ·

基于生态保护红线的生态安全格局构建

徐德琳 邹长新* 徐梦佳 游广永 吴丹

(环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042)

摘要: 生态保护红线是国家依法在重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等区域划定的严格管控边界, 是国家和区域生态安全的底线。随着生态保护红线理念正式上升为国家战略, 以及划定技术与方法的发展完善, 生态保护红线正成为生态安全领域的核心议题。由于生态保护红线具有明显地理边界, 合理整合了多部门的生态保护成果, 并更加全面地关注了多种生态过程, 为生态安全格局的构建与优化提供了新思路。本文在梳理生态安全格局研究进展和生态保护红线划定科学本质与内涵的基础上, 探索将生态保护红线区作为生态安全格局的源地, 并以此为基础进一步构建生态廊道、生态战略节点等, 从而形成涵盖重要生态功能保护格局、人居环境安全格局、生物多样性维系格局的生态安全格局体系。以生态保护红线为基础的生态安全格局建设, 将有效保护、恢复和重建自然生态系统的完整性, 维持重要生态服务功能的可持续性。今后需深入探讨生态保护红线区内生态过程-功能-格局之间的内在联系, 并在生态安全格局海陆统筹保护、配套相应管控措施、建立监督评估机制等方面做进一步研究。

关键词: 生态保护红线, 生态安全格局, 生态源地, 生态系统完整性, 生态服务功能

Ecological security pattern construction based on ecological protection redlines

Delin Xu, Changxin Zou*, Mengjia Xu, Guangyong You, Dan Wu

Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042

Abstract: Ecological protection redlines are the management and control boundary delimited by government according to law and regulations, and are the baseline of ecological safety. They include important ecological functional regions, sensitive ecotopes, and fragile ecotopes. As the concept of the ecological protection redlines has been raised as a national strategy, and the rapid development of demarcating technology and methodology, ecological protection redlines have become a core issue in the field of ecological security. Due to obvious boundary, integration, and comprehensiveness, the ecological protection redlines can be used as the basic spatial element to create a pattern of ecological security, and provide a new method for ecological space pattern construction and optimization. Based on the research progress of ecological safety patterns and the basic theories of ecological protection redlines, this paper attempts to regard the ecological protection redlines as the source area of ecological protection, and furthermore to construct the ecological corridor and strategy node, thus forming a complete ecological security pattern including patterns protecting ecological function, residential environment safety, and biodiversity maintenance. The construction of ecological security patterns based on ecological redlines can effectively protect, restore and reconstruct ecosystems, and also ensure the sustainability of important ecological services. Further emphasis should be put in the following aspects: internal relationships within process-function-pattern in ecological protection redlines, comprehensive protection of marine and land ecological safety patterns, supporting management and control measures, and the system of supervision and evaluation.

收稿日期: 2015-05-18; 接受日期: 2015-08-24

基金项目: 环保公益性行业科研专项(201209027、201409055)、环保部南京环境科学研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项“城市群生态安全格局构建技术方法”

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zcxnies@163.com

Key words: ecological protection redlines, ecological security pattern, ecological source area, ecosystem integrity, ecological service

近年来,随着我国工业化和城市化的快速发展,土地利用与地表覆盖发生了巨大变化,生态环境问题日益严峻,土地生态承载力严重退化,重要生态系统服务功能不断下降,国土及区域生态安全受到威胁。土地是重要生态过程和生态系统服务功能的载体,也是人类社会经济发展的基础,因此,构建科学合理的生态安全格局,是实现社会经济可持续发展和生态环境保护的重要途径(徐卫华等, 2014)。为此,学者们进行了大量积极探索(李锐和何彤慧, 2012; 高吉喜, 2014; 邹长新等, 2014; 杨邦杰等, 2014),各级政府也出台了相关政策,为生态安全格局构建提供了理论与实践支撑。

生态保护红线是国家依法在重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等区域划定的严格管控边界(http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201505/t20150518_301834.htm)。自2011年国务院明确提出划定生态保护红线的任务以后,中国共产党十八届三中全会把划定生态保护红线作为推进生态文明制度建设、推进生态环境管理体制改革的的重要举措。《中华人民共和国环境保护法》(2014年修订版)更是首次明确提出“保护优先”的原则,将生态保护红线写入法律。生态保护红线界定的是亟需实施严格保护的国土空间,这些国土空间是国家和地方生态安全的重要保障,也是生态安全格局构建的关键组分。本文从生态安全格局的研究意义和进展、生态保护红线的科学本质和内涵等方面着手,探索构建基于生态保护红线的生态安全格局,以期为保障国土和区域生态安全,实现社会经济可持续发展提供理论依据。

1 生态安全格局的研究意义和进展

1.1 研究意义

生态安全格局(ecological security pattern, ESP)理论强调,景观中存在着某些潜在的生态系统空间格局,它由景观中的某些关键元素、局部、空间位置及其联系共同构成,对维护或控制特定地段的某种生态过程具有关键意义(俞孔坚等, 1999; 张百平, 2005)。通过控制和调配这些关键空间和组分,可以实现对生物多样性的保护和恢复,维持生态系统结

构、功能和过程的完整性,从而有效保障区域生态安全,控制环境问题。

对景观格局与生态过程关系的充分了解,是构建合理生态安全格局的基础。物种迁徙、水土流失等生态过程均需克服不同阈值的地形、地貌、土地利用类型等景观阻力,才能实现在空间上的扩散和覆盖(赵筱青等, 2009)。通过改变景观格局组分的空间配置和属性,可以有效控制有害生态过程的蔓延,促进有利生态过程的流动,实现生态安全格局的构建与优化。构建生态安全格局一方面可将抽象的生态系统过程与景观要素充分连接起来,从而维护对人类生存至关重要的生态系统及其服务;另一方面,对于国土空间的科学管理也具有重要意义。十八大报告中把构建生态安全格局作为国土空间开发优化布局的重要途径,认为它可以促进形成合理的国土生态空间,继而为优化生产和生活空间提供依据。因此,开展生态安全格局构建方法研究,也是科学整合现有各类保护区域、提高生态保护效率、优化国土空间开发格局、强化区域生态安全保障和管理的有效方法和途径,对于推进生态文明建设具有重要作用。

1.2 相关进展

我国学者已在生态安全格局领域开展了广泛研究。生态安全格局的构建方法从最初定性的规划分析评价、静态格局的优化、条件不变时的孤立状态寻优等逐步发展为定量数据演算、动态格局的发展模拟,以及条件可变时的状态趋势的分析等。研究尺度从局地扩展到区域乃至国土水平,研究对象涵盖城市、流域、农牧交错带、生态敏感区和脆弱区等。从研究方法上看,生态安全格局的构建方法主要包括定性规划、3S技术、情景分析法、指标评价法及动态模拟等(欧定华等, 2015)。

尽管生态安全格局研究已取得诸多进展,但仍存在一定不足。从功能组分上来看,现有生态源地的识别方法较为简单,许多生态斑块边界模糊。依据“基质-斑块-廊道”理论,俞孔坚(1999)指出典型的生态保护安全格局由生态源地、廊道、缓冲区、辐射道和战略点等组成。其中,生态源地是整个生态安全格局构建的基础,其准确性和全面性对格局

整体构建至关重要。目前,多数研究选择区域内自然保护区和风景名胜区的核心区等作为生态源地,还有学者选用区域内一定面积的绿地、水体等生态斑块作为生态源地(李晖等, 2011; 蒙吉军, 2014)。吴健生等(2013)尝试采用景观连通性指数、生态系统服务重要性的综合方法对深圳市生态源地斑块进行识别, 这为科学识别生态源地提供了思路。但是, 由于目前我国许多自然保护区、重要生态斑块等的边界仍不明确, 不同部门划分的各类保护区还存在着空间交叉重叠等问题, 给生态源地选择带来了困难(赵广华等, 2013)。此外, 从现实状况来看, 一些保护区的核心区并非真正意义上的生态保护关键区, 有些并不适于选作源地。

从生态过程类型来看, 当前的生态安全格局构建主要集中在对水平生态过程的控制上。生态过程可分为垂直生态过程和水平生态过程两类(傅伯杰等, 2001)。垂直生态过程发生在某一地域单元内, 直接反映其所依赖的资源分布, 如养分循环、土壤侵蚀等(胡巍巍等, 2008)。虽然对垂直生态过程—格局的研究也有较为成熟的方法, 如多因素加权叠加法、生态适宜性综合评价法等, 但在特定区域内, 同时考虑水平生态过程和垂直生态过程的生态安全格局研究还不多(俞孔坚等, 2009)。

2 生态保护红线的研究内容

我国已建立了各级各类保护地如自然保护区、森林公园、风景名胜区等, 其中自然保护区面积达陆域国土面积的15%(高吉喜等, 2014)。同时我国也已提出全国重点生态功能区、重要生态功能区、生态敏感区和脆弱区等大尺度的生态功能区域。这些不同尺度的保护区域对我国的国土生态保护起到积极作用, 但是尚未形成系统完整的保护体系。如何用更加科学、全面、系统的方法实现大尺度生态保护体系构建与优化, 已成为自然资源保护与规划研究的热点问题。当前, 继热点地区(hotspots)和空缺保护分析(gap analysis)等理论之后, 系统保护规划(Systematic Conservation Planning, SCP)理论已成为自然保护规划领域的重要理论(Myers *et al.*, 2000; Margules & Pressey, 2000; Hansen & Defries, 2007)。该理论认为, 有效的生态保护体系应能够最大限度地保护特定尺度区域内的生态过程与功能, 识别保护体系空缺, 与现有生态保护区域合理整合与优

化, 通过综合考虑保护目标、保护成本和边界连通度等, 使有限的资金、人力和物力资源实现最佳配置(Rondinini & Pressey, 2007; 栾晓峰等, 2009; Kukkala & Moilanen, 2013)。

生态保护红线即是在系统保护规划等理论的指导下, 结合我国环境保护管理工作的实际而提出的重要战略任务。生态保护红线不是重新划定新的保护地, 而是将已有的重要保护地整合为完整且便于管理的生态保护体系, 既包含已建的各类保护地, 也包含现有的保护空缺区域。生态保护红线具有明确的空间边界, 是维护国土及区域生态安全的底线, 是现阶段考虑生态保护能力和经济社会发展需求下不可突破的保护地, 它保护的是对维护生态安全格局、保障生态系统功能、支撑经济社会可持续发展具有关键作用的区域(高吉喜, 2014)。

生态保护红线的内涵包括以下3个方面: 一是生态服务保障线, 即提供生态调节与文化服务, 支撑经济社会发展的必需生态区域; 二是人居环境安全屏障线, 即保护生态敏感区和脆弱区, 维护人居环境安全的基本生态屏障; 三是生物多样性维持线, 即保护生物多样性, 维持关键物种、生态系统与种质资源生存的最小面积。据此, 生态保护红线较为全面地保障了生态系统和人居环境的安全。

国际上虽然尚未有生态保护红线的概念, 但是国内外学者在保护区有效性评估、生态敏感性和脆弱性评价、保护区设计与选址方面做了大量工作(曲芝等, 2015), 为我国生态保护红线划定工作提供了技术参考。我国生态保护红线的划定工作借鉴国际上生态保护的相关理论与方法, 以国家层面的指导性文件和地方相关规划为主要依据, 一般通过4个步骤完成, 即: (1)确定保护目标, 并依据代表性、不可替代性、互补性、连通性等特征, 识别包含保护空缺区域在内的重点区域范围; (2)开展生态系统服务重要性评估和生态敏感性评估; (3)通过合理性和可行性综合分析确定生态保护红线划定方案; (4)根据生态保护红线分布图开展地面调查并进行生态保护红线边界核定。

3 基于生态保护红线的生态安全格局构建

生态保护红线的划定对象是区域内生态保护的核心区块, 具有重要生态功能或高度生态敏感性、脆弱性(林勇等, 2016)。作为最严格的生态保护

空间, 生态保护红线区反映了区域内生态保护空间的分布特征和功能定位, 对维护和控制区域内重要生态过程发挥了关键作用。因此, 生态保护红线的划定, 为生态安全格局的构建提供了基础。

相对于以往的生态安全格局构建, 基于生态保护红线的生态安全格局构建具有一定优势。首先, 生态保护红线区具有明晰的地理边界。生态保护红线的划定具有严格的技术流程, 通过范围识别、重要性评估、划定方案确定与协商、边界核定等多个步骤, 最终得出精确的图件及其基本信息。其次, 生态保护红线的划定整合了多部门的生态保护成果, 将多种生态保护空间在同一平台进行统筹, 避免了保护空间的交叉重叠。第三, 生态保护红线的保护范围广泛, 不仅包括水平生态过程, 也包括垂直生态过程。其划定范围包括重点生态功能区、生态敏感区和脆弱区、各类禁止开发区(国家与地方层面)以及其他具有重要生态保护价值的区域。相比于以往研究较多的以水平生态过程(物种迁徙、沙尘暴扩散等)为主的生态安全格局构建, 生态保护红线还关注水源涵养、水土保持等垂直生态过程。因此, 在生态保护红线的基础上选择生态源地, 可以更多地关注生态系统结构、过程与功能, 集中解决区域重要生态功能的保护与恢复、敏感区和脆弱区的保护与恢复等一系列生态环境问题, 进而构建更加全面系统的生态安全格局。

在基于生态保护红线的生态安全格局构建研究中, 可将景观生态学中的“基质-斑块-廊道”模式(傅伯杰等, 2001)作为切入点, 通过定性和定量分析, 识别研究区中的关键斑块(生态源地)、斑块间连接(生态廊道)以及生态战略节点, 并分析这三大关键要素的数量组合、空间配置等关系, 最终构建系统完整的生态安全格局(Teng *et al.*, 2011)。

3.1 生态保护源地选择

依据生态安全的内涵, 生态保护源地选择应至少满足3个层次的目标: 一是维持现有生态过程的完整性; 二是保障重要生态服务功能的可持续性; 三是预防生态系统退化带来的生态环境问题(吴健生等, 2013)。生态保护红线完整纳入了区域内对生态过程、生态系统服务功能以及对外界干扰敏感的生态斑块, 在进行具体生态保护源地选择时还需进一步筛选与整合。

对生态保护红线区域进行重要性排序是生态

源地选择的重要步骤。评估指标包括生态系统服务功能价值、生态斑块连通性, 以及生态斑块抵御外界干扰的能力。通过综合利用生态系统服务功能价值核算及相关动态评估模型(Shi *et al.*, 2012; 胡喜生等, 2013)和Conefor Sensinode等生态斑块连通性评价软件, 以及InVEST等生境质量评估模块, 可将具有明确边界和范围的生态保护红线区域进行重要值排序。根据区域内不同生态安全水平的需要设定阈值, 将区域内的不同类型生态保护红线斑块进行重要性分级, 进而构建不同水平的生态安全格局。

3.2 生态廊道与生态战略节点辨识

廊道是呈条带状分布的景观要素, 生态廊道则是指具有污染过滤、生物多样性保护、防风固沙、洪水调控、景观隔离等多种功能的廊道类型(朱强等, 2005)。生态战略节点一般指在生态廊道上起到“跳板”或“踏脚石”功能的区域, 对生态廊道作用的发挥意义重大。由于人为因素和自然因素的干扰, 生态保护红线区域多数呈岛屿式的非连续分布状态, 区域间缺乏连接, 这给重要生态过程与功能的保护带来一定困难。为实现对生态系统过程与功能的完整和连续性保护, 有必要在生态源地选择的基础上, 辨识区域内的生态廊道和生态战略节点, 进而构建完整的区域生态安全格局。

水平生态过程(如物种迁徙、沙尘暴扩散等)带有从源地向外扩张的特性, 会自然选择阻抗最小的路径扩张, 因而可采用费用距离(cost distance)、最小累积阻力(minimum cumulative resistance, MCR)等方法进行度量, 通过识别源地间的低阻力通道及通道交叉处, 进一步识别出生态廊道与生态战略节点。对于垂直生态过程(如水源涵养、土壤侵蚀等), 应分析不同生态保护红线区域的特点, 找出对区域生态安全具有关键影响的生态节点, 并依据景观的连续性、异质性和生态保护红线的重要性, 将不同等级节点通过绿色廊道连接为整体的保护网络。

3.3 生态安全格局的构建与优化

依据生态保护红线内涵, 我国的生态安全格局应包括三大部分, 即: (1)重要生态功能保护格局, 包括保护重要生态功能区, 维护生态系统服务功能, 支撑社会经济可持续发展; (2)人居环境安全格局, 即保护生态敏感区和脆弱区, 减缓与控制生态灾害, 保障人居环境安全; (3)生物多样性维系格局,

即保护关键物种与生态系统, 维持生物多样性, 确保生物资源可持续利用。

重要生态服务功能保护格局的构建需要确定发挥重要生态服务功能的区域。《全国主体功能区规划》(http://zfs.mep.gov.cn/fg/gwyw/201106/t20110609_211861.htm)划定了水源涵养型、水土保持型、防风固沙型和生物多样性维护型等4大类共25个国家重点生态功能区。《全国生态功能区划》(http://www.zhb.gov.cn/info/bgw/bgg/200808/t20080801_126867.htm)根据各生态功能区对保障国土生态安全的重要性, 以水源涵养、土壤保持、防风固沙、生物多样性保护和洪水调蓄等5类主导生态调节功能为基础, 在全国划定了50个重要生态功能区。上述重要(点)生态功能区可作为重要生态服务功能保护格局的构建基础。但是上述区域主要分布在我国西北、东北与东南等区域, 而社会经济发展相对较快的东部地区的许多重要生态功能区域并未涵盖, 如太湖湿地、京津水源地等; 同时, 一些生态热点地区由于面积较小未纳入全国重要(点)生态功能区, 但其生态价值很高, 在生态安全格局中也有着重要作用。故应进一步识别功能区以外的保护空缺区作为必要补充。

构建人居环境安全格局时, 要重点考虑那些生态系统结构稳定性较差、容易受到外界干扰并发生退化演替、对环境变化反应相对敏感, 且系统自我修复能力较弱、自然恢复时间较长的生态区域。应基于主要生态环境问题, 明确典型生态系统服务功能、资源利用与人类活动的相互作用关系及空间范围, 并通过生态敏感性或脆弱性评价, 根据区域地理特征、生态结构和生态服务功能差异, 构建人居环境安全格局。

构建生物多样性维系格局时, 要将稀有程度和濒危等级高、受威胁程度大的关键物种和生态系统作为生态红线的保护对象, 并选取重要的动植物物种和生态系统, 开展濒危性、特有性及重要性评价, 遴选关键物种和生态系统的分布信息, 确定其分布范围及当前保护空缺, 识别关键生态斑块、生态廊道和生态战略节点, 设置生态缓冲区, 同时注重保持自然生态系统的完整性与连通性, 以维护物种和生态系统存活的最小面积为原则, 最终确定生物多样性维系格局。

整合3种生态安全格局, 最终构建成完整的国

家生态安全格局, 使之成为保障国家、区域和城市生态安全的永久性格局, 为区域和城市提供生态系统服务, 保障国家尺度上的生态可持续性。从技术方法上说, 考虑到3种生态安全格局存在相互重叠的现象, 在整合时可以GIS空间分析技术为基础, 采取空间叠加和综合分析的方法完成。

在格局优化过程中, 还需注意生态安全格局的尺度和时空动态特征。目前, 生态保护红线的划定采取上下联动的方式, 国家层面和地方省市层面都开展了划定工作, 在此基础上构建的各级生态安全格局的侧重有所不同, 即国家红线的划定是从保障国家生态安全出发, 重点关注宏观尺度或跨界分布的重点生态功能区、生态敏感区和脆弱区等; 省市县或某一自然地理单元的红线划定则是从保障区域生态安全出发, 重点关注区域内部重要的生态保护区域。因此, 国家和地方共同划定以后的生态红线区域, 综合起来就能够为国土及区域地区生态安全提供基础保障, 满足不同尺度的生态安全需求。虽然生态系统功能受损或物种濒危等问题多是发生在低尺度水平, 但保护和管理则需在更高尺度上进行(傅伯杰等, 2010)。在构建国土及区域水平生态安全格局体系时, 还需考虑受保护生态系统在时间和空间上的自相关性, 实现生态安全格局在多尺度间的转换(陈利顶等, 2006)。同时, 受生态过程动态性的影响, 生态安全格局也呈现明显的时空动态特征, 应随生态系统保护的需要、生产力的变化、生态保护能力的增强, 及时增加生态保护红线范围, 进而对生态安全格局做出动态调整。随着生态保护红线区域的不断拓展和完善, 也将使生态安全格局更加趋于优化。

4 展望

国土及区域尺度的生态安全格局构建是一个系统工程, 在今后的研究过程中还需不断完善, 以保证其准确性和科学性。由于生态保护红线区域涵盖多种生态过程和功能, 目前的研究虽已认识到格局、过程与功能三者的重要联系, 但相关研究仍处于初级阶段。今后应深入探讨不同类型生态保护红线区内生态过程-功能-格局的内在联系, 并寻求更多野外实测数据的支撑。同时, 目前的研究主要针对陆地, 对于海洋生态安全格局构建方面的研究尚未涉及, 在国家实施陆海统筹保护战略时需要深入

考虑。此外,在构建基于生态保护红线的生态安全格局的基础上,还需根据各类生态安全格局的性质和保护目标配套相应的管控措施,建立完善的监测、评估与考核制度等,从而更加系统地保障国土及区域生态安全。随着划定并严守生态保护红线上升为我国一项重要的生态保护战略,构建基于生态红线的生态安全格局框架体系,将有效保护、恢复和重建国土及区域尺度上的关键生态系统的完整性,以及重要生态服务功能的可持续性,并为社会经济发展提供生态支撑。

参考文献

- Chen LD (陈利顶), Lv YH (吕一河), Fu BJ (傅伯杰), Wei W (卫伟) (2006) A framework on landscape pattern analysis and scale change by using pattern recognition approach. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **26**, 663–670. (in Chinese with English abstract)
- Fu BJ (傅伯杰), Chen LD (陈利顶), Ma KM (马克明), Wang YL (王仰麟) (2001) *Principle and Application of Landscape Ecology* (景观生态学原理及应用). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Fu BJ (傅伯杰), Xu YD (徐延达), Lv YH (吕一河) (2010) Scale characteristics and coupled research of landscape pattern and soil and water loss. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), **25**, 673–681. (in Chinese with English abstract)
- Gao JX (高吉喜) (2014) Construction ideas of national ecological protection redline system. *Environmental Protection* (环境保护), **42**(2–3), 18–21. (in Chinese)
- Gao JX (高吉喜), Zou CX (邹长新), Wang LX (王丽霞) (2014) Drawing ecological protection redline to deepen environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment* (环境影响评价), (4), 11–14. (in Chinese)
- Hansen AJ, DeFries R (2007) Ecological mechanisms linking protected areas to surrounding lands. *Ecology Letters*, **8**, 23–29.
- Hu WW (胡巍巍), Wang GX (王根绪), Deng W (邓伟) (2008) Advance in research of the relationship between landscape patterns and ecological processes. *Progress in Geography* (地理科学进展), **27**, 18–24. (in Chinese with English abstract)
- Hu XS (胡喜生), Hong W (洪伟), Wu CZ (吴承祯) (2013) An improved dynamic evaluation model and land ecosystem service values for Fuzhou City. *Resources Science* (资源科学), **35**, 30–41. (in Chinese with English abstract)
- Kukkala AS, Moilanen A (2013) Core concepts of spatial prioritisation in systematic conservation planning. *Biological Reviews*, **88**, 443–464.
- Li H (李晖), Yi N (易娜), Yao WJ (姚文璟), Wang SQ (王思琪), Li ZY (李志英), Yang SH (杨树华) (2011) Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **31**, 5928–5936. (in Chinese with English abstract)
- Li R (李锐), He TH (何彤慧) (2012) Basic theory and practical significance of the construction of regional pattern for ecological security. *Journal of Anhui Agriculture Science* (安徽农业科学), **40**, 6113–6115. (in Chinese with English abstract)
- Lin Y (林勇), Fan JF (樊景凤), Wen Q (温泉), Liu SX (刘述锡), Li BY (李滨勇) (2016) Primary exploration of ecological theories and technologies for delineation of ecological redline zones. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **36**, doi: 10.5846/stxb201407091405. (in Chinese with English abstract)
- Luan XF (栾晓峰), Huang WN (黄维妮), Wang XL (王秀磊), Liu MC (刘敏超), Liu SR (刘世荣), Wu B (吴波), Li DQ (李迪强) (2009) Identification of hotspots and gaps for biodiversity conservation in Northeast China based on a systematic conservation planning methodology. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **29**, 144–150. (in Chinese with English abstract)
- Margules CR, Pressey RL (2000) Systematic conservation planning. *Nature*, **405**, 243–253.
- Meng JJ (蒙吉军), Yan Q (燕群), Xiang YY (向芸芸) (2014) The optimization of ecological security pattern based on land use and assessment of schemes in Ordos. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **34**, 590–596. (in Chinese with English abstract)
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GA, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, **403**, 853–858.
- Ou DH (欧定华), Xia JG (夏建国), Zhang L (张莉), Zhao Z (赵智) (2015) Research progress on regional ecological security pattern planning and discussion of planning technique flow. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), **24**, 163–173. (in Chinese with English abstract)
- Qu Y (曲艺), Li JS (李佳珊), Wang JF (王继丰), Cui FX (崔福星), Sun GQ (孙工棋), Luan XF (栾晓峰), Ni HW (倪红伟) (2015) A SCP (Systematic Conservation Planning) optimization of a conservation network system for wetlands in Sanjiang Plain, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **35**, 6394–6404. (in Chinese with English abstract)
- Rondinini C, Pressey RL (2007) Systematic conservation planning in European landscape. *Conservation Biology*, **21**, 1404–1405.
- Shi Y, Wang RS, Huang JL, Yang WR (2012) An analysis of the spatial and temporal changes in Chinese terrestrial ecosystem service functions. *Chinese Science Bulletin*, **57**, 720–731.
- Teng MJ, Wu CG, Zhou ZX, Lord E, Zheng ZM (2011) Multipurpose greenway planning for changing cities: a framework integrating priorities and a least-cost path model. *Landscape and Urban Planning*, **103**, 1–14 .

- Wu JS (吴建生), Zhang LQ (张理卿), Peng J (彭建), Feng Z (冯喆), Liu HM (刘洪萌), Hao SB (郝胜彬) (2013) The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **33**, 4125–4133. (in Chinese with English abstract)
- Xu WH (徐卫华), Luan XF (栾雪菲), Ouyang ZY (欧阳志云), Zhang LJ (张丽君) (2014) Ecological security pattern and spatial management strategy in China. *Land and Resources Information* (国土资源情报), (5), 27–31. (in Chinese with English abstract)
- Yang BJ (杨邦杰), Gao JX (高吉喜), Zou CX (邹长新) (2014) The strategic significance of drawing the ecological protection red line. *China Development* (中国发展), **14**(1), 1–3. (in Chinese with English abstract)
- Yu KJ (俞孔坚), Li DH (李迪华), Duan TW (段铁武) (1999) Landscape approaches in biodiversity conservation. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **6**, 205–212. (in Chinese with English abstract)
- Yu KJ (俞孔坚), Li HL (李海龙), Li DH (李迪华), Qiao Q (乔青), Xi XS (奚雪松) (2009) National scale ecological security pattern. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **29**, 5163–5175. (in Chinese with English abstract)
- Zhang BP (张百平), Yao YH (姚永慧), Zhu YH (朱运海), Xu J (许娟) (2005) Scientific basis and working frame for regional ecological security research. *Progress in Geography* (地理科学进展), **24**, 1–7. (in Chinese with English abstract)
- Zhao GH (赵广华), Tian Y (田瑜), Tang ZY (唐志尧), Li JS (李俊生), Zeng H (曾辉) (2013) Distribution of terrestrial national nature reserves in relation to human activities and natural environments in China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **21**, 658–665. (in Chinese with English abstract)
- Zhao XQ (赵筱青), Wang HB (王海波), Yang SH (杨树华), Xu XY (徐晓雅) (2009) GIS-based ecological optimization of spatial patterns of land resources. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **29**, 4892–4905. (in Chinese with English abstract)
- Zhu Q (朱强), Yu KJ (俞孔坚), Li DH (李迪华) (2005) The width of ecological corridor in landscape planning. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **9**, 2406–2412. (in Chinese with English abstract)
- Zou CX (邹长新), Xu MJ (徐梦佳), Gao JX (高吉喜), Yang SS (杨姗姗) (2014) Ecological security evaluation of national important ecological function areas. *Journal of Ecology and Rural Environment* (生态与农村环境学报), **30**, 688–693. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 薛达元 责任编辑: 时意专)