

生态功能区划理论研究进展

蔡佳亮¹, 殷 贺², 黄 艺^{1,*}

(1. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; 2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要:作为生态系统管理的重要手段,开展科学合理的生态功能区划,已成为世界各国走向可持续发展所面临的关键挑战之一。生态功能区划针对一定区域内自然地理环境分异性、生态系统多样性、以及经济与社会发展不均衡性的现状,结合自然资源保护和可持续开发利用的思想,整合与分异生态系统服务功能对区域人类活动影响的生态敏感性,将区域空间划分为不同生态功能区的研究过程。生态功能区划反映了基于景观特征的主要生态模式,强调了不同时空尺度的景观异质性。通过梳理生态功能区划的概念与内涵、形成与发展及其理论基础,提出了生态功能区划是以恢复区域持续性、完整性的生态系统健康为目标,基于区域的自然地理背景,界定生态功能分区及其子系统的边界,结合区域水陆生态系统、社会经济与土地利用的现状评价与问题诊断,识别生态系统空间格局的分布特征、生态过程的关键因子以及动态演替的驱动因子,明确影响生态系统服务功能的景观格局与结构、景观过程与功能以及景观动态变化,构建生态功能区划的指标体系与技术体系,实现生态功能多级区划,并为决策者更为全面和综合地开展生态系统管理提供科学依据。

关键词:生态功能区划;生态系统服务功能;景观异质性;生态系统健康;生态系统管理

Ecological function regionalization: a review

CAI Jialiang¹, YIN He², HUANG Yi^{1,*}

1 College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China

2 College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: Ecological Function Regionalization (EFR) is viewed as one of the most important strategies to support ecosystem management and sustainable development worldwide. EFR is a systematic method for classifying and mapping ecological unit at the regional scale, based on integrating the information of the nature and distribution of ecosystems, as well as ecological patterns and processes and the interrelationships among social, physical, and biological systems. Depending on different temporal and spatial scales, ecological units are designed to exhibit similar patterns in many characteristics associated with landscape heterogeneity. This paper presents a comprehensive review of EFR theories, describes the EFR definitions and concepts, examines the underlying principles for EFR, and shows how the framework for ecological unit designing can be used in resource planning and management. This study is aimed to provide a systematic method for ecological unit recognizing and mapping, considering how we understand the spatial distribution of ecosystems and how to achieve regional sustainability and ecosystem health. The driving factors were then recognized to better measure the effects to the ecological pattern and process at different temporal and spatial scales. Finally, we propose a classification framework for EFR to benefit decision making on regional ecosystem management.

Key Words: ecological function regionalization; ecosystem services; landscape heterogeneity; ecosystem health; ecosystem management

生态系统服务功能维系和支持了地球的生命系统与环境动态平衡^[1-3]。然而,随着人口的急剧增长、资

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2008ZX07526-002)

收稿日期:2009-04-06; **修订日期:**2009-07-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yhuang@pku.edu.cn

源的过度消耗和生态环境的持续恶化,人类活动已经使全球生态系统遭到空前的冲击与破坏,生态系统服务功能及其对人类福祉正在迅速衰退,甚至威胁到人类可持续发展的生态基础^[4]。联合国《千年生态环境评估报告》研究表明,全球生态系统服务功能的 60% 已经退化,同时预计今后 50a,生态系统服务功能的退化可能还会加剧^[5]。为了满足生态系统健康恢复、生态系统管理改善以及生态系统资源持续利用的战略新需求,因此,作为生态系统管理的重要手段,开展科学合理的生态功能区划,已成为世界各国走向可持续发展所面临的关键挑战之一。

1 生态功能区划的概念与内涵

所谓生态功能区划(ecological function regionalization, EFR),就是在分析研究区域生态环境特征与生态环境问题、生态环境敏感性和生态服务功能空间分异规律的基础上,根据生态环境特征、生态环境敏感性和生态服务功能在不同地域的差异性和相似性,将区域空间划分为不同生态功能区的研究过程^[6]。

生态功能区划的本质就是生态系统服务功能区划。换言之,生态功能区划是一种以生态系统健康为目标,针对一定区域内自然地理环境分异性、生态系统多样性、以及经济与社会发展不均衡性的现状,结合自然资源保护和可持续开发利用的思想,整合与分异生态系统服务功能对区域人类活动影响的不同敏感程度,构建的具有空间尺度的生态系统管理框架^[7-10]。

生态功能区划和生态特征区划是生态区划的两大组成部分。相比生态特征区划,生态功能区划反映了基于景观特征的主要生态模式,强调了不同时空尺度的景观异质性^[11-14]。景观异质性是指景观尺度上景观要素组成和空间结构上的变异性和复杂性,其来源主要是环境资源的异质性、生态演替和干扰^[15]。景观异质性不仅是景观结构的重要特征和决定因素,而且对景观格局、过程和功能具有重要影响和控制作用,决定着景观的整体生产力、承载力、抗干扰能力、恢复能力、决定着景观的生物多样性^[16]。因此,通过识别生态系统生态过程的关键因子、空间格局的分布特征、以及动态演替的驱动因子,就能揭示生态系统服务功能的区域差异,进而因地制宜地开展生态功能区划,引导区域经济-社会-生态复合系统的可持续发展,提供了一种新的思路和途径^[2,17]。

2 生态功能区划的形成与发展

自然地理环境是生态系统形成和分异的物质基础。在一定尺度的区域内,自然地理环境的地域分异规律,会形成空间分布呈区域分异的不同生态系统的组合,因此,一般而言生态区划是在自然区划的基础上发展而来的^[6,18]。19 世纪初,德国地理学家 Humboldt 把气候与植被分布有机结合,首创了世界等温线图。俄国地理学家 Dokuchaev 提出按气候划分自然土壤带,建立了土壤地带学说。与此同时,德国地理学家 Hommever 发展了地表自然区划的观念与在主要单元内部逐级分区概念,设想出 4 级地理单元,从而开创了现代自然区划的研究^[7]。

19 世纪末,生态区划的研究出现,其标志是 Merriam 以生物作为自然区划的依据来划分美国的生命带和农作物带^[11]。1905 年,英国生态学家 Herbertson 对全球各主要自然区域单元进行了区划和介绍,并指出进行全球生态地域划分的必要性^[19]。随着 1935 年英国生态学家 Tansley 提出了生态系统的概念,以植被(生态系统)为主体的生态区划研究得到了蓬勃发展,但也出现了把植被区划等同于生态区划,忽视生态系统整体特征的研究误区^[6]。1962 年,加拿大森林学家 Orie Loucks 提出了生态区的概念,并为以此作为划分单位进行生态区划奠定了理论基础^[20-24]。1967 年,加拿大生态学家 Crowley 根据气候和植被的宏观特征,绘制了加拿大生态区地图。1976 年,美国生态学家 Bailey 提出了真正意义上的生态区划方案,从生态系统的角度阐述区划是按照其空间关系来组合自然单元的过程,并分别绘制了美国^[25-26]、北美洲^[27-28]、世界大陆^[29]和海洋^[30]的生态区地图。

20 世纪 80 年代起,开始出现生态功能区划的研究,并在大区域尺度上得到了广泛应用,其中包括了美国环境保护署(US Environmental Protection Agency, USEPA)^[21]、塞拉俱乐部(Sierra Club)^[31]、环境合作委员会(Commission for Environmental Cooperation)^[32]、世界野生生物基金组织(World Wildlife Fund, WWF)^[33]、以及

联合国粮食和农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations)^[34]的一些区划工作。这些生态功能区划与生态制图的方法与成果,阐明生态系统对全球变化的响应,分析区域生态环境问题形成的原因和机制,并进一步对生态环境和生态资产进行综合评价,为区域资源的开发利用,生物多样性保护,以及可持续发展战略的制订等提供科学的理论依据^[7,30]。

在中国,自然区划工作始于20世纪30年代,其标志是《中国气候区域论》的发表^[35]。20世纪40年代,黄秉维对我国进行了首次植被区划^[36,37]。1959年,中国科学院自然区划工作委员会编写出版了《中国综合自然区划(初稿)》,首次明确区划的目的是为农、林、牧、水等事业服务,并依据国外(主要是前苏联)的区划工作拟订了适合中国特点又便于与国外相比较的区划原则和方法^[9,38]。与此同时,根据农业发展的需要,中国提出了一系列全国农业区划方案。20世纪80年代出版的《中国自然生态区划与大农业发展战略》一书根据生态系统的差异,首次将全国划分为22个生态区,这标志着中国生态区划的研究正式拉开帷幕^[39]。针对20世纪90年代中期中国日益严峻的生态形势,傅伯杰等提出在充分认识区域生态系统特征的基础上,研究生态系统服务、生态资产的分布,生态胁迫过程和生态环境敏感性,建立中国生态环境综合区划的原则、方法和指标体系^[7]。杨勤业和李双成明确了中国生态地域的基本分区,将全国分为52个生态区^[40]。21世纪初,傅伯杰等提出了中国生态区划方案,即将全国划分为3个生态大区、13个生态地区、54个生态区,从而揭示不同生态区的生态环境问题及其形成机制,为全国各区域进一步开展生态功能区划建立了宏观框架^[41]。2001年,国家环保总局组织中国科学院生态环境研究中心编制了《生态功能区划暂定规程》,对省域生态功能区划的一般原则、方法、程序、内容和要求做了规定,用于指导和规范各省开展生态功能区划^[6]。

3 生态功能区划的理论基础

3.1 生态系统服务功能

生态系统服务功能是指人们从生态系统获取的效益^[5]。由于受气候、地形等自然条件的影响,生态系统类型多种多样,其服务功能在种类、数量和重要性上存在很大的空间异质性。因此,区域生态系统服务功能的研究就必须建立在生态功能分区的基础上。同时,生态系统服务功能是随时间发展变化的,生态系统的演替过程反映了其受人为干扰影响而发生的相应变化,因而生态功能区划就必须考虑其动态性特征^[4]。

3.2 区域生态规划

区域生态规划与生态规划相比,其内涵更强调区域性、协调性和层次性。通过识别区域复合生态系统的组成与结构特征,明确区域内社会、经济及自然亚系统各组分在地域上的组合状况和分异规律,调控人类活动与自然生态过程的关系,从而实现资源综合利用、环境保护与经济增长的良性循环^[42]。因此,区域生态规划为生态功能区划的区域尺度研究提供了直接依据。

3.3 环境功能区划

环境功能区划是从整体空间观点出发,以人类生产和生活需要为目标,根据自然环境特点、环境质量现状、以及经济社会发展趋势,把规划区分为不同功能的环境单元^[43]。环境功能区划立足划分单元的环境承载力,突出了区域与类型相结合的区划原则,即表现在环境功能区划图上,既有完整的环境区域,又有不连续的生态系统类型存在。从生态系统生态学的角度而言,生态系统服务功能体现了系统在外界扰动下演替和发展的整体性和耗散性,以及通过与外界物质和能量交换来维持自身平衡的动态过程。因此,环境功能区划是研究生态功能区划原则的重要基础。

3.4 景观生态区划

景观生态区划是基于对景观生态系统的认识,通过景观异质性分析确立分区单元,结合景观发生背景特征与动态的景观过程,依据景观功能的相似性和差异性,对景观单元划分及归并。景观生态区划重视空间属性的研究,强调景观生态系统的空间结构、过程以及功能的异质性。相比生态系统服务功能,景观生态区划着眼于协调资源开发与生态环境保护之间的关系,更注重发挥和保育自然资源作为生态要素和生态系统的生态环境服务功能。因此,景观生态区划为生态功能区划,尤其是流域生态功能区划,研究水陆生态系统的耦合关

系提供了关键的理论指导,同时也为生态功能区划的应用提供了强有力的技术支持。

3.5 生态系统健康与生态系统管理

生态系统健康是用一种综合的、多尺度的、动态的和有层级的方法来度量系统的恢复力、组织和活力^[44]。相比生态系统完整性,生态系统健康更强调生态系统被人类干扰后所希望达到的状态,不具备进化意义上的完整性^[45]。刘永和郭怀成认为,对于生物多样性非常重要的区域,可以利用生态系统完整性评价,来反映人为活动对生态系统的干扰程度,但由于很多人活动的活动的影响已经无法改变,因此无法以生物系统完整性作为生态系统管理的目标。更多地,应该将生态系统健康评价以及在此基础上的生态系统综合评价的结果,作为生态功能区划制定生态系统管理策略的重要基础^[46]。

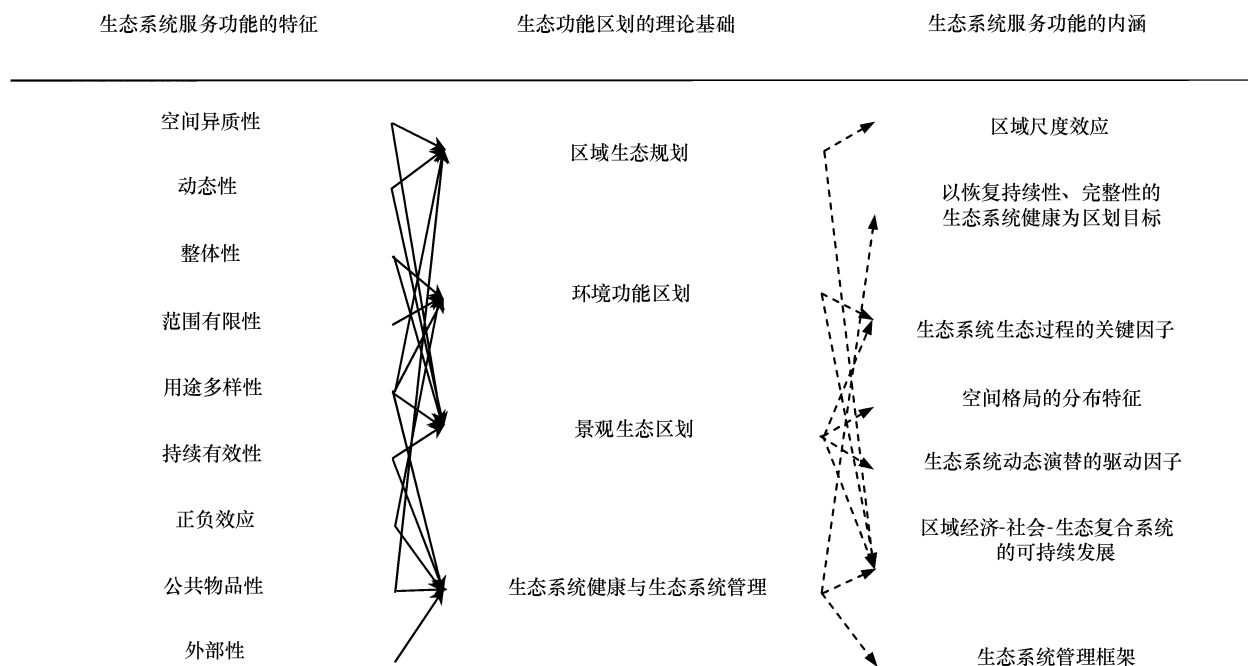


图1 生态功能区划理论基础的对应关系

Fig. 1 The corresponding relationship among fundamental theories for Ecological Function Regionalization

4 生态功能区划的理论体系

4.1 区划目标

分析区域生态环境特征、生态系统类型、生态系统完整性和生态系统服务功能的空间异质性规律,明确生态功能分区的主导生态系统服务功能以及生态环境保护目标,划定对区域生态系统健康起关键作用的重要生态功能区域。以生态功能区划为基础,指导区域生态系统管理,增强各功能分区生态系统的生态调节服务功能,为区域产业布局和资源利用的生态规划提供科学依据,促进社会经济发展和生态环境保护的协调,从而保证实现区域经济-社会-生态复合系统的良性循环和可持续发展。

4.2 区划原则

4.2.1 发生学原则

根据区域生态环境问题、生态敏感性和生态服务功能与生态系统结构、过程、格局的关系,确定区划中的主导因子和区划依据,例如,生态系统的土壤保持功能的形成与降水特征、土壤结构、地貌特点、植被覆盖、土地利用等许多因素相关^[8]。

4.2.2 相似性与差异性原则

自然地理环境的地域分异,形成了生态系统的景观异质性。每个景观生态结构单元都有特殊的发生背景、存在价值、优势、威胁及与必须处理的相互关系,从而导致景观格局和过程会随区域自然资源、生态环境、

生产力发展水平和社会经济活动的不同,而在一定区域范围内表现出相互之间的差异性^[47-50]。同时,相似性是相对于差异性而确立的,空间分布相似的要素会随区域范围的缩小和分辨率的提高而显示出差异性。因此,生态功能区划必须保持区域内区划特征的最大相似性(相对一致性),区域间区划特征的差异性。

4.2.3 等级性原则

等级(系统)理论是20世纪60年代以来逐渐发展形成的。等级是一个由若干层次组成的有序系统,它由相互联系的亚系统组成,亚系统又由各自的亚系统组成,以此类推,属于同一亚系统中的组分之间的相互作用在强度或频率上要大于亚系统之间的相互作用^[15]。根据等级理论,复杂系统可以看作是由具有离散性等级层次组成的等级系统,其离散性反映了自然界中各生物和非生物学过程具有特定的时空尺度,也简化了对复杂系统的描述和研究^[51-52]。Levin指出,生态系统是典型的复杂适应系统,具有异质性、非线性、等级结构以及能量、物质与信息流等4大要素,同时这些要素形成了生态系统的自组织性^[53-54]。通过生态系统自组织,宏观层次上的系统特性可通过微观层次上组分间的局部性相互作用得以体现,而宏观层次又通过反馈作用影响或制约这些微观层次上的相互作用关系的进一步发展。

由此可见,任何尺度上的区域都是多种生态系统服务功能的综合体,不存在单一生态系统服务功能的生态单元。在较高等级生态系统中所表现的生态系统服务功能,与其自身的整体性、综合性并不矛盾,还反映了较高等级生态系统中存在的区域差异^①。因此,生态功能区划必须按区域内部差异,划分具有不同区划特征的次级区域,从而形成能够反映区划要素空间异质性的区域等级系统。

4.2.4 生态完整性原则

生态完整性主要体现在各区划单元必须保持内部正常的能量流、物质流、物种流和信息流等流动关系,通过传输和交换构成完整的网络结构,从而保证其区划单元的功能协调性,并具有较强的自我调节能力和稳定性。因此,生态功能分区必须与相应尺度的自然生态系统单元边界相一致^[10]。

4.2.5 时空尺度原则

空间尺度是指区域空间规模、空间分辨率及其变化涉及的总体空间范围和该变化能被有效辨识的最小空间范围^[15]。在生态系统的长期生态研究中,空间尺度的扩展十分必要,目前一般可分为小区尺度、斑块尺度、景观尺度、区域尺度、大陆尺度和全球尺度等6个层次。任一类生态系统服务功能都与该区域,甚至更大范围的自然环境与社会经济因素相关,所以生态功能区划的空间尺度往往立足于区域尺度(流域、省域)、大陆尺度(全国)甚至全球尺度考虑^[8]。

时间尺度是指某一过程和事件的持续时间和事件中的持续时间长短,及其过程与变化的时间间隔,即生态过程和现象持续多长时间或在多大的时间间隔上表现出来^[15]。由于不同区域或同一区域不同的生态系统生态过程总是在特定的时间尺度上发生的,相应地在不同的时间尺度上表现为不同的生态学效应,生态功能区划应结合行政地区的发展规划,提出近、中、远期不同时间尺度的生态系统管理目标,以适应处于动态变化的生态环境,从而对区域经济-社会-生态复合系统的可持续发展发挥更好的指导作用。

4.2.6 共轭性原则

生态功能分区必须是具有独特性、空间上完整的自然区域,即任何一个生态功能分区必须是完整个体,不存在彼此分离的部分^[55]。在一定的区域范围内,生态系统在空间上存在共生关系,所以生态功能区划应通过生态功能分区的景观异质性差异,来反映它们之间的毗连与耦合关系,强调生态功能分区在空间上的同源性和相互联系。

4.2.7 可持续发展原则

人类与生态环境是密不可分的。漫长的人类历史形成了一个区域特有的劳动生产方式和土地利用格局,体现了这个区域生态系统特有的生物与物理条件^[9-10,43]。生态功能区划不仅要促进资源的合理利用与开发,

① 李正国,陕北黄土高原景观异质性及其分区研究,北京大学博士学位论文,2006。

削减和改善生态环境的破坏,而且应正确评价人类经济和文化格局在区域内的相似性和区域间的差异性,从而增强区域社会经济发展的生态环境支撑力量,推进生态功能分区的可持续发展。

4.2.8 跨界管理原则

生态功能区划的边界具有自然属性而非行政属性,所以区划应统筹考虑跨行政边界(跨部门职能)的冲突问题,使得区划结果能够体现相关政府部门、利益相关者以及公众协商的一致认可性,从而保证不会造成未来的生态系统管理问题。

4.3 区划的关键问题分析

4.3.1 生态系统的生态过程分析

生态过程是指生态系统内部和不同生态系统之间物质、能量、信息的输入、输出、流动、转化、储存与分配过程的总称,其具体表现多种多样,包括物质循环、能量流动、种群和群落演替等物理、化学和生物过程以及人类活动对这些过程的影响^[59]。

生态系统的物质和能量流动是生态过程的基本机制。从景观生态学出发,景观过程是由一定时空尺度上的各景观要素共同驱动的、自然和人为因子共同作用的结果,其主要表现为景观要素之间的相互作用、相互联系、相互依存,强调了事件或现象的发生、发展的动态特征^[49-50]。景观格局的形成,反映了不同的景观过程,与此同时,景观格局又在一定程度上影响着景观过程中的物质迁移和能量转换。

4.3.2 生态系统的空间格局分析

景观异质性决定了生态系统空间格局研究的重要性。从景观生态学出发,景观格局是景观异质性的具体表现,是自然、生物和社会要素之间相互作用的结果,同时也是生态系统生态过程在不同尺度上作用的结果,而且对生态系统的边缘效应有一定的影响^[49,56-57]。因此,斑块边界的确定是景观格局分析的重要依据。景观格局分析可以及时准确地反映生态过程的动态变化,即从看似无序的景观斑块镶嵌中,发现潜在的、有意义的规律,以确定驱动生态过程的景观格局分布特征^[15,58]。

4.3.3 生态系统的动态变化分析

生态系统服务功能随时间的动态演替是景观动态变化的有力证据。景观动态变化是一个十分复杂的过程,其实质包括了生态系统不同组分及其服务功能之间的相互转化过程,揭示了在外界干扰下,景观格局、过程和功能中能量流动、物质循环和信息传递的变化情况。

景观动态变化的驱动因子一般可分为2类:自然因子和人为因子。自然因子常常是在较大的时空尺度作用于景观,它可以引起大面积的景观发生变化;人为因子包括人口、技术、政治经济体制、政策和文化等,在其影响下,景观动态变化主要表现在土地利用/土地覆被的变化,土地利用本身就包括了人类的利用方式及管理制,而土地覆被是与自然的景观类型相联系的^[15,49]。

4.4 区划的研究方法框架

生态功能区划是以恢复区域持续性、完整性的生态系统健康为目标,基于区域的自然地理背景,界定生态功能分区及其子系统的边界,结合区域水陆生态系统、社会经济与土地利用的现状评价与问题诊断,识别生态系统空间格局的分布特征、生态过程的关键因子以及动态演替的驱动因子,明确影响生态系统服务功能的景观格局与结构、景观过程与功能以及景观动态变化,构建生态功能区划的指标体系,制定区划的原则与依据,同时以3S技术为主导,构建区划的技术体系,从而实现生态功能多级区划,并为决策者更为全面和综合地开展生态系统管理提供科学依据。

5 生态功能区划理论在流域水生态功能区划中应用展望

目前在我国,流域生态环境问题主要集中在以下5个方面:①水质恶化,②水量型缺水与水质型缺水并存,③水资源开发与生态用水冲突^[60],④水生态破坏严重与河口淤积,⑤流域跨行政边界管理的职能分割与脱节^[17]。我国一直在积极寻求适宜的水环境保护和管理措施,已先后制定了《水功能区划技术大纲》^[61]、《地表水环境功能区划分技术导则》^[62]、《近岸海域环境功能区划分技术规范》^[63]、《中国水功能区划(试

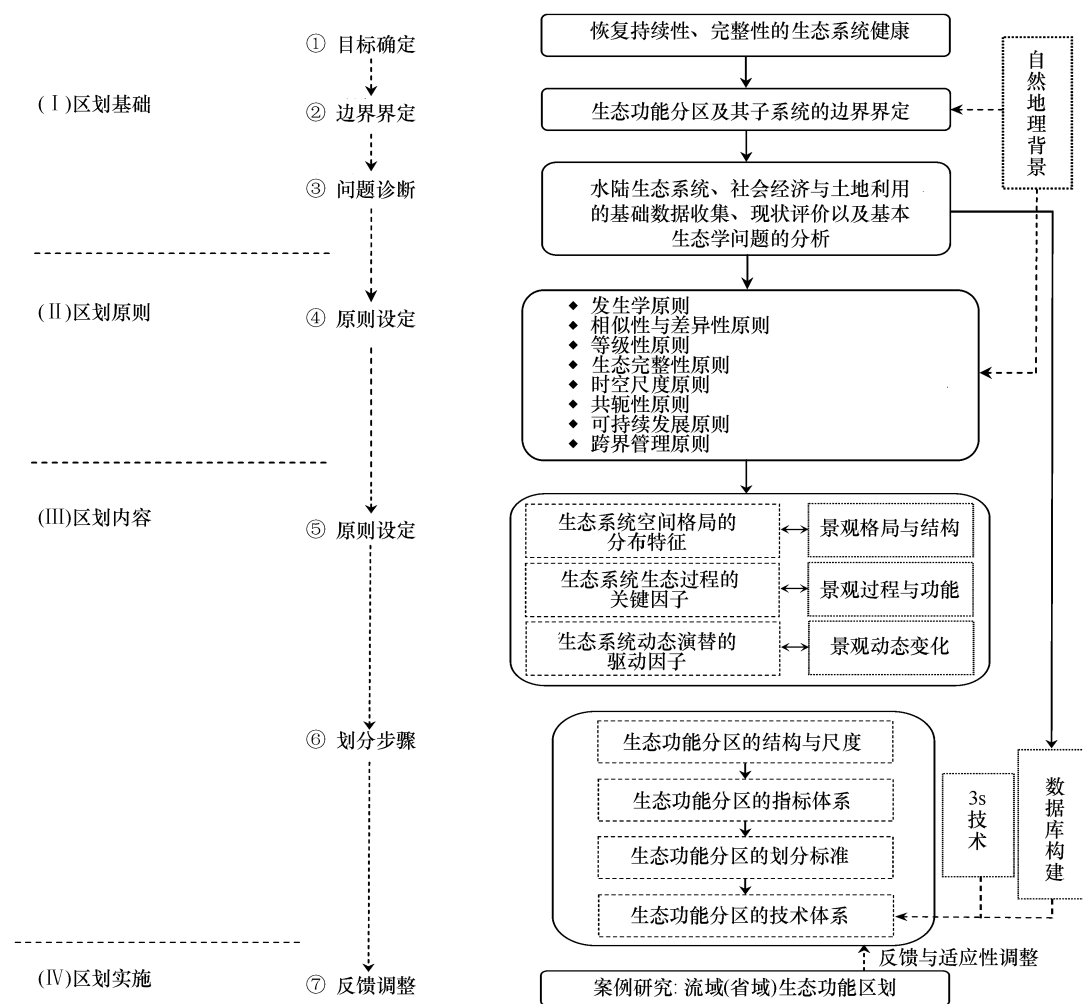


图2 生态功能区划的研究方法框架

Fig. 2 Methodology Framework for Ecological Function Regionalization

行)》^[64]、《中国地表水环境功能区划》^[65]、以及《生态功能区划技术暂行规程》^[66]等。它们对解决我国的水生态环境问题都发挥了重要作用,然而受众多主客观因素的影响,这些现行区划都还存在一系列问题。例如,缺乏基于流域生态环境特征与生态环境问题、生态环境敏感性以及生态系统服务功能空间异质性规律的理论与方法的研究^[67],无法从根本上协调流域各利益相关者在水质、水量、水生态方面的冲突^[46],无法适应以恢复完整性和可持续性生态系统健康为目标的流域生态系统管理的新要求^[68],同时也无法满足未来我国水环境管理和水资源保护战略的新需求^[60]。因此,在我国系统开展流域水生态功能区划研究就显得十分迫切和重要。

流域水生态功能区划应基于生态功能区划的生态系统服务功能、尺度效应、地域分异规律、生态系统健康与生态完整性以及生态过程等相关理论,结合流域的区域特征、水文结构以及生态完整性,体现淡水生态系统与陆地生态系统的层次与等级,通过与河流、湖泊管理单元的相衔接,实现流域水陆一体化协调管理的分区研究目的。综合分析人类活动对水生态系统的干扰过程以及水生态系统所表现出的敏感性,识别土地利用/覆盖变化对水生态系统健康的胁迫机制。根据景观空间格局,选择与分区层次体系相一致的影响因素作为指标,对水体及其周围陆地进行区域的分类整合。最终形成一套流域利益相关方共同参与,协商解决冲突矛盾的管理机制。

References:

- [1] Costanza R, d'Arge R, Groot R D, Farberk S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neil R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Belt M V D. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387, 253-260.
- [2] Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5): 625-640.
- [3] Yu S X, Shang J C, Guo H C. The Economical assessment of ecosystem services and natural capital. *China Population, Resources and Environment*, 2004, 14(5): 42-44.
- [4] Li W H, *et al.* Ecosystem services evaluation: Theory, method and application. Beijing: Renmin University of China Press, 2008.
- [5] World Resources Institute. Convention on Biological Diversity Office of State Environmental Protection Administration of China. Ecosystems and human well-being biodiversity synthesis. Beijing: China Environmental Science Press, 2005.
- [6] Zheng D X, Tang X H. Ecological function regionalization in Fujian Province. Beijing: China Environmental Science Press, 2007.
- [7] Fu B J, Chen L D, Liu G H. The objectives, tasks and characteristics of China ecological regionalization. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 591-595.
- [8] Ouyang Z Y, Wang R S. Regional ecological planning: Theory and method. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [9] Yan N L. Ecosystem delineation on priority ecosystem services and ecosystem management: Theory framework and demonstration research. Shanghai: Shanghai Academy of Social Sciences Press, 2007.
- [10] Li J X. Landscape ecology practices and commentary. Beijing: China Environmental Science Press, 2007.
- [11] Merriam C H. Life zones and crop zones of the United States. Bulletin Division Biological Survey 10. Washington DC: US Department of Agriculture, 1898.
- [12] Dice L R. The biotic provinces of North America with separate map at 1 inch equals 500 miles. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1943.
- [13] Udvardy M D F. A classification of the biogeographical province of the world. Occasional paper No. 18. Morges: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 1975.
- [14] Thayer R L. Life place: Bioregional thought and practice. Berkeley: University of California Press, 2003.
- [15] Yu X X, Niu J Z, Guan W B, Feng Z K. Landscape ecology. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [16] Li X W, Hu Y M, Xiao D N. Landscape ecology and biodiversity conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(3): 399-407.
- [17] Huang Y, Cai J L, Zheng W S, Zhou F, Guo H C. Research progress in aquatic ecological function regionalization and its approach at watershed. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(3): 542-548.
- [18] Meng J J. Integrated Physical Geography. Beijing: Peking University Press, 2005.
- [19] Herbertson A J. The major natural regions: an essay in systematic geography. *Geographical Journal*, 1905, 25: 300-312.
- [20] Marshall I B, Smith C S, Selby C J. A national framework for monitoring and reporting on environmental sustainability in Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1987, 39: 25-38.
- [21] Omernik J M. Ecoregions of the conterminous United States(Map supplements). *Annals of the Association of American Geographers*, 1987, 77: 118-125.
- [22] Wichware G M, Rubec C D. Ecoregions of Ontario. Ecological Land Classification Series, No. 26. Sustainable Development Branch, Environment Canada, Ottawa, Ontario, 1989.
- [23] Warry N D, Hanau M. The use of terrestrial ecoregions as a regional-scale screen for selecting representative reference sites for water quality monitoring. *Environmental Management*, 17: 267-278.
- [24] Klijn M, Udo Hae A. A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification. *Landscape Ecology*, 9: 89-104.
- [25] Bailey R G. Map: Ecoregions of the United States at 1:7500000. Ogden: U. S. Department of Agriculture and Forest Service, Intermountain Region, 1976.
- [26] Bailey R G. Ecoregions of the United States (rev.) at 1:7500000. Washington DC: U. S. Department of Agriculture and Forest Service, 1994.
- [27] Bailey R G, Cushwa C T. Ecoregions of North America FWS/OBS-8/29 at 1:12000000. Washington DC: U. S. Department of Fish and Wildlife Service, 1981.
- [28] Bailey R G. Ecoregions of the North America (rev.) at scale 1:7500000. Washington DC: U. S. Department of Agriculture and Forest Service, 1997.
- [29] Bailey R G. Ecoregions of the Continents-scale 1:30000000 map of land-masses of the world. *Environmental Conservation*, 1989, 16: 307-309.
- [30] Bailey R G. Ecosystem geography with separate maps of the ocean and continents at 1:80000000. New York: Springer-Verlag, 1996.
- [31] Elder J. The big picture; Sierra Club Critical Ecoregions Program. *Sierra*, 1994, 79: 52-57.
- [32] Commission for Environmental Cooperation. Ecological Regions of North America: Toward a Common Perspective. Quebec: Commission for

- Environmental Cooperation, 1997.
- [33] Olsen D M, Dinerstein E. The Global 2000: A representation approach to conserving the Earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology*, 1998, 2: 502-515.
- [34] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global Mapping in global forest resources assessment 2000. Rome: FAO Forestry Paper 140, Food and agriculture organization of the United Nations, 2001: 321-331.
- [35] Zhu K Z. China climatic zones. *Journal of Meteorological Institute*, 1931, 1.
- [36] Huang B W. China plant region (A). *History Magazine*, 1940, 1(3): 19-30.
- [37] Huang B W. China plant region (B). *History Magazine*, 1940, 1(4): 38-52.
- [38] Natural regionalization committee of the Chinese Academy of Sciences. China integrated natural regionalization (Draft). Beijing: Science Press, 1959.
- [39] Hou X Y. Strategy of China natural ecological regionalization and agricultural development. Beijing: Science Press, 1988.
- [40] Yang Q Y, Li S C. Some themes on eco-regionalization of China. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 596-601.
- [41] Fu B J, Liu G H, Chen L D, Ma K M, Li J R. Scheme of ecological regionalization in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 1-6.
- [42] Liu K, Li T S. Ecological planning: Theory, method and application. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [43] Hai R T, Wang W X. Eco-environmental assessment, planning and management. Beijing: China Environmental Science Press, 2004.
- [44] Constanza R, Mageau M. What is a healthy ecosystem? *Aquatic Ecology*, 1999, 33: 105-115.
- [45] Scrimgeour G J, Wicklum D. Aquatic ecosystem health and integrity: Problems and potential solutions. *Journal of The North American Benthological Society*, 1996, 15(2): 254-261.
- [46] Liu Y, Guo H C. Lake-watershed ecosystem management: Theory and application. Beijing: Science Press, 2008.
- [47] Ehrlich P R, Wheye D. Non-adaptive hilltopping behavior in male checkerspot butterflies (*Euphydryas editha*). *American Naturalist*, 1986, 127: 477-483.
- [48] Wu J G. Landscape ecology: Pattern, process, scale and hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [49] Fu B J, Chen L D, Ma K M, Wang Y L. Landscape ecology principles and its application. Beijing: Science Press, 2001.
- [50] Xiao D N, Li S Z, Gao J, Chang Y, Li T S. Landscape ecology. Beijing: Science Press, 2003.
- [51] O'Neil R V, Deangelis D L, Waide J B, Allen T F H. A hierarchical concept of ecosystems. Princeton: Princeton University Press, 1986.
- [52] Wu J G. Dissipative structure, hierarchy theory and ecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1991, 10(2): 181-186.
- [53] Levin S A. Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems. *Ecosystems*, 1998, 1: 431-436.
- [54] Levin S A. Fragile Dominion: Complexity and the Commons. Reading (MA): Perseus Books, 1999.
- [55] Lai M Z. Sustainable architecture and practical landscape ecology. Taipei: Mingwen Bookstore Co., Ltd., 2001.
- [56] Turner M G, Gardner R H. Quantitative methods in landscape ecology. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [57] Fu B J. The spatial pattern analysis of agricultural landscape in the loess area. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(2): 113-120.
- [58] Li H, Franklin J F. Landscape ecology: new concept framework of ecology. *Ecology Progress*, 1988, 5(1): 23-33.
- [59] Lv Y H, Chen L D, Fu B J. Analysis of the integrating approach on landscape pattern and ecological processes. *Progress in Geography*, 2007, 26(3): 1-10.
- [60] Qian Z Y, Zhang G D. Integrated and special reports on sustainable development strategy of water resources in China. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2001.
- [61] Ministry of Water Resources. Outline of water function zoning technology. Beijing: Ministry of Water Resources, 2000.
- [62] Environmental Planning Institute of State Environmental Protection Administration. Division of water environment functional area of technical guidelines. Beijing: State Environmental Protection Administration, 2001.
- [63] Ministry of Water Resources. Offshore environmental function zoning technical specifications (HJ/T 82-2001). Beijing: Ministry of Water Resources, 2001.
- [64] Ministry of Water Resources. China water function zoning (Trial). Beijing: Ministry of Water Resources, 2002.
- [65] State Environmental Protection Administration. China surface water environmental function zoning. Beijing: State Environmental Protection Administration, 2002.
- [66] State Environmental Protection Administration. Ecological function zoning technical provisional order. Beijing: State Environmental Protection Administration, 2003.
- [67] Meng W, Zhang Y, Zheng B H. Aquatic ecological region approach and its application in China. *Advances in Water Science*, 2007, 18(2): 216-222.
- [68] Zhou F, Liu Y, Huang K, Guo H C, Yang P J. Water environmental function zoning at watershed scale and its key problems. *Advances in Water Science*, 2007, 18(2): 293-300.
- [69] Yang P J, Wu W Z, Meng W, Zhou F, Liu Y, Zhang Y, Zheng B H, Hu C, Li X. Ecosystem management oriented water environmental function zoning

at watershed scale-Hun River Basin as a case study. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6):944-952.

参考文献:

- [2] 欧阳志云,王如松,赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. *应用生态学报*, 1999, 10(5):625-640.
- [3] 于书霞,尚金城,郭怀成. 生态系统服务功能及其价值核算. *中国人口·资源与环境*, 2004, 14(5):42-44.
- [4] 李文华等. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京:中国人民大学出版社, 2008.
- [5] 世界资源研究所. 国家环境保护总局履行《生物多样性公约》办公室编译. 生态系统与人类福祉——生物多样性综合报告. 北京:中国环境科学出版社, 2005.
- [6] 郑达贤,汤小华. 福建省生态功能区划研究. 北京:中国环境科学出版社, 2007.
- [7] 傅伯杰,陈利顶,刘国华. 中国生态区划的目的、任务及特点. *生态学报*, 1999, 19(5):591-595.
- [8] 欧阳志云,王如松. 区域生态规划理论与方法. 北京:化学工业出版社, 2005.
- [9] 燕乃玲. 生态功能区划与生态系统管理:理论与实证. 上海:上海社会科学院出版社, 2007.
- [10] 李建新. 景观生态学实践与评述. 北京:中国环境科学出版社, 2007.
- [15] 余新晓,牛健植,关文彬,冯仲科. 景观生态学. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [16] 李晓文,胡远满,肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护. *生态学报*, 1999, 19(3):399-407.
- [17] 黄艺,蔡佳亮,郑维爽,周丰,郭怀成. 流域水生态功能分区以及区划方法的研究进展. *生态学杂志*, 2009, 28(3):542-548.
- [18] 蒙古军. 综合自然地理学. 北京:北京大学出版社, 2005.
- [35] 竺可桢. 中国气候区域论. *气象研究所集刊*, 1931, 第一号.
- [36] 黄秉维. 中国之植物区域(上). *史地杂志*, 1940, 1(3):19-30.
- [37] 黄秉维. 中国之植物区域(下). *史地杂志*, 1940, 1(4):38-52.
- [38] 中国科学院自然区划工作委员会. 中国综合自然区划(初稿). 北京:科学出版社, 1959.
- [39] 候学煜. 中国自然生态区划与大农业发展战略. 北京:科学出版社, 1988.
- [40] 杨勤业,李双成. 中国生态地域划分的若干问题. *生态学报*, 1999, 19(5):596-601.
- [41] 傅伯杰,刘国华,陈利顶,马克明,李俊然. 中国生态区划方案. *生态学报*, 2001a, 21(1):1-6.
- [42] 刘康,李团胜. 生态规划理论、方法与应用. 北京:化学工业出版社, 2004.
- [43] 海热提,王文兴. 生态环境评价、规划与管理. 北京:中国环境科学出版社, 2004.
- [46] 刘永,郭怀成. 湖泊-流域生态系统管理研究. 北京:科学出版社, 2008.
- [48] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [49] 傅伯杰,陈利顶,马克明,王仰麟. 景观生态学原理及应用. 北京:科学出版社, 2001b.
- [50] 肖笃宁,李秀珍,高峻,常禹,李团胜. 景观生态学. 北京:科学出版社, 2003.
- [52] 邬建国. 耗散结构、等级系统理论与生态系统. *应用生态学报*, 1991, 10(2):181-186.
- [55] 赖明洲. 永续建筑及景观的实务生态学. 台北:明文书局股份有限公司, 2006.
- [57] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析. *生态学报*, 1995, 15(2):113-120.
- [58] 李哈滨, Franklin J F. 景观生态学——生态学领域里的新概念构架. *生态学进展*, 1988, 5(1):23-33.
- [59] 吕一河,陈利顶,傅伯杰. 景观格局与生态过程的耦合途径分析. *地理科学进展*, 2007, 26(3):1-10.
- [60] 钱正英,张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告. 北京:中国水利水电出版社, 2001.
- [61] 中华人民共和国水利部. 水功能区划技术大纲. 北京:中华人民共和国水利部, 2000.
- [62] 国家环境保护总局环境规划院. 水环境功能区划分技术导则. 北京:国家环境保护总局, 2001.
- [63] 中华人民共和国水利部. 近岸海域环境功能区划技术规范(HJ/T 82-2001). 北京:中华人民共和国水利部, 2001.
- [64] 中华人民共和国水利部. 中国水功能区划(试行). 北京:中华人民共和国水利部, 2002.
- [65] 国家环境保护总局. 中国地表水环境功能区划. 北京:国家环境保护总局, 2002.
- [66] 国家环境保护总局. 生态功能区划技术暂行规程. 北京:国家环境保护总局, 2003.
- [67] 孟伟,张远,郑丙辉. 水生态区划方法及其在中国的引用前景. *水科学进展*, 2007, 18(2):216-222.
- [68] 周丰,刘永,黄凯,郭怀成,阳平坚. 流域水环境功能区划及其关键问题. *水科学进展*, 2007, 18(2):293-300.
- [69] 阳平坚,吴为中,孟伟,周丰,刘永,张远,郑丙辉,胡成,李璇. 基于生态管理的流域水环境功能区划——以浑河流域为例. *环境科学学报*, 2007, 27(6):944-952.