

DOI: 10.5846/stxb201711172046

孙然好, 李卓, 陈利顶. 中国生态区划研究进展: 从格局、功能到服务. 生态学报, 2018, 38(15): - .

Sun R H, Li Z, Chen L D. Review of ecological regionalization and classification in China: ecological patterns, functions, and ecosystem services. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(15): - .

中国生态区划研究进展: 从格局、功能到服务

孙然好*, 李卓, 陈利顶

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: 在总结国内外生态区域研究的基础上, 系统梳理了中国现有的生态区划方案, 总结出生态特征和类型区划、生态地理和格局区划、生态功能和服务区划三大类, 分别对每个区划的指标、技术、方案、特点进行了归纳, 并提出了各自存在的问题。现有研究缺少面向服务供需的生态系统区划, 生态制图和更新的标准化技术也存在不足。为此, 提出明确不同生态区划的科学或管理目标、强调人类需求对于生态系统服务的影响、重视全球气候变化对生态系统的现实作用和未来影响、加强现代制图技术在生态区划的作用、整合现有多原则和多目标的生态分区方案等五个方面的建议。

关键词: 生态类型; 生态地理; 生态区划; 生态功能; 生态服务

Review of ecological regionalization and classification in China: ecological patterns, functions, and ecosystem services

SUN Ranhao*, LI Zhuo, CHEN Liding

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

Abstract: Ecological regionalization is the basis for understanding the spatial heterogeneity of ecological types, structures, processes, functions, and ecosystem services. In this study, we investigated the schemes of ecological regionalization in China. Three types of ecological regionalization were summarized according to systematic reference review: ecological features and types, ecological geography and pattern, and ecological function and ecosystem services. These regionalization schemes have different focuses on evaluating differences and characteristics of an ecosystem, and identifying countermeasures for restoring a degraded ecosystem. We generalized the objectivities, indices, methods, and characteristics for each ecological regionalization scheme. The advantages and shortcomings were also provided by comparing different schemes. Generally, current studies lack regionalization schemes which focus on ecosystem services, particularly for the supply, demand, and flow of ecosystem services. On the other hand, the cartography of ecological regionalization is short of the generating and updating based on remote sensing and big data. Finally, we proposed four potential improvements for ecological regionalization for future studies. First, ecological regionalization should focus on a specific object, such as for scientific theories or management strategies. Second, we need to quantify human demand in the ecosystem service assessment. The tradeoff between supply and demand of ecosystem services should be the basis of ecosystem service mapping. Third, ecological regionalization would be improved by combining the ecosystem services and global change scenarios. The mapping of ecosystem services based on climatic backgrounds and scenarios may be helpful for guiding the adaptation to climate change. Four, modern technologies are important tools in the improvement of ecological regionalization. We need to develop a standard procedure for data collection, processing, storage, and mapping during ecological

基金项目: 科技基础性工作专项(2013FY112800)

收稿日期: 2017-11-17; 网络出版日期: 2018-00-00

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

regionalization. Lastly, current regionalization schemes are useful to ecosystem management even if they are not designated as ecoregions. We need to integrate related regionalization schemes within the framework of ecosystem management and protection.

Key Words: ecological type; ecological geography; ecological regionalization; ecological function; ecosystem services

生态区划与地理区划既有联系又有区别。地理/地域区划多以地球表层系统为对象,揭示水平和垂直地域分异规律,是将整体分割为相对完整区域的科学^[1]。而生态区划则强调生态系统整体性的规律,以及人类活动对生态系统干扰的特征,从而划分生态基本单元,是特征区划与功能区划的统一^[2]。“生态区”的概念最早由加拿大森林学家 Orie Loucks 于 1962 年提出,是指具有相似生态系统或期待发挥相似生态功能的陆地及水域。这一概念成为指导随后各种与生态系统有关分区的基础,并随着科学认识的提高和技术发展,“生态区”的概念也在不断演化。最初所关注的研究对象为在不考虑人类活动影响的前提下生物和非生物环境的相似性,随后增加了对人类活动影响的考虑。此外,生态系统的多尺度特征以及生态格局-过程的耦合关系也常常被应用于各尺度生态区划中,包括点位尺度、区域尺度和全球尺度^[3]。早期的生态区划多以单因素为主题,随着生态系统整体性和等级理论的发展,美国生态学家 Bailey 于 1976 年从生态系统的角度提出了首个真正意义上的生态区划,并编制了美国生态区划图,包括地域、区、省和地段 4 个等级,此后引起了各国生态学家对生态区划原则、指标体系、等级和方法等的关注和深入探讨。近年来,学者们开展了生态区与生态系统管理的分析,尤其是全球生态区与生态保护的有效性评估^[3]。除了陆地生态特征外,国际上对于河流生态特征也开始纳入生态区划的考虑范围^[4],此外,考虑社会经济要素的社会-生态区划也逐渐得到关注^[5]。学者们也提出了生态区划的一些普遍问题,如生态系统定义、生态区的复杂性、定性和定量方法、流域边界整合等多个方面^[6]。除了传统的根据生态格局进行区划外,一些基于生态过程和流的分区技术也在得到应用^[7-8]。尤其近几年,国际上对于生态系统服务的制图和区划也逐渐得到重视^[9-11]。

我国生态区划起步相对较晚,相关工作也多以单要素为主。在综合区划方面,傅伯杰等^[2]在综合各个专题区划的基础上,面对国民经济发展的需求,开展了首个全国性的生态区划,将中国大陆分为 3 个生态大区、13 个生态地区和 57 个生态区,系统揭示了不同生态单元存在的生态环境问题及其形成机制。中国生态分区的进展与经济发展和社会需求密切相关。从生态地理进行自然特征的归纳和概括,到生态经济为社会经济服务。近年来开始侧重于对不同生态要素的归纳和集成,尤其是伴随着遥感技术和数据的推广,在植被生态分区、河流生态分区、湖泊和湿地生态分区等有较大进展。对于中国敏感区域,如西北干旱区、农牧交错带、黄土高原、青藏高原等区域的生态分区也较多。对于全国范围的生态敏感性制图主要集中在酸雨、荒漠化、盐碱化等几个方面。生态功能分区是近年来发展很快的领域,全国范围的生态功能分区已经在环保部等国家层面进行推广和应用。很多地方也在此基础上进行了细化和更新,推动了生态功能监测和管理的实践应用。本文筛选国内主要的生态区划方案,梳理它们的分区原则、方法和特点,并提出需要继续加强和优化的方向。

1 中国生态区划的主要特点

1.1 生态特征和类型区划

生态特征和类型划分作为认识生态系统分布格局、揭示生态区域结构和功能的基础,历来受到重视^[12-13]。生态类型划分主要针对部分生态要素或者特征进行,如植被、水体、沙漠、城市、生物等。自然综合体在形成和演化过程中,各生态要素所起的作用是具有不均衡性的,往往其中部分要素起着突出的主导作用。生态类型区划意义在于通过揭示某些重要生态要素的组成结构、空间结构以及相对应的生态问题,可以有针对性地提出生态建设措施和实现途径。比如,早期的生态区划主要沿袭了自然地理区划的内涵,强调地域分异规律,揭示植被和土壤景观特征,没有考虑人与自然的联系;植被、生物多样性和生物地理区划多采用自下

而上的聚类方法,利用生物群系数数据进行区划,以保护生物完整性为目标;干旱、沙漠、戈壁等区划则在自然地理区划基础上,强调极端环境的生态影响和人类活动等;生态水文分区则在水文区划基础上,增加了与人类活动有关的分区指标。

国内主要的生态特征和类型区划方案见表 1,主要特点是秉承主导因素的划分原则,在全面分析各要素相互作用基础上,突出起主导作用的生态要素,进行地域单元划分,揭示区域分异的本质,亦有利于部门管理的需要。

表 1 中国生态特征和类型区划方案
Table 1 Regionalization for ecological features and types

名称 Name	年代 Year	分区方案 Scheme	分区指标 Indices	分区方法 Methods	主要特点 Characteristics
中国景观区划初步研究 ^[14]	1982	2 个地域、16 个带、44 个地区	一级包括水、热、土壤,二级分两部分(东北的指标包括年降水量、最多降水月降水量、植被和土壤类型;西南的指标包括年均温、最冷月均温、气候特征、植被和土壤类型),三级包括垂直带基带土壤类型	自上而下分区方法	地带性、非地带性、垂直带性的有机结合
中国生物多样性的生态地理区划 ^[15]	1998	5 个生物大区、7 个生物亚区、18 个生物群区	气候指标、植物生长季积温、年降水量、植被、土壤、地形地貌等	模糊聚类	侧重于生物多样性保护
青藏高原土地沙漠化区划 ^[16]	2001	9 个一级区、23 个二级区	自然地域系统、沙漠化土地分布形式与分布指数、土地利用类型、人为活动频率、沙漠化发展程度	地理相关分析法和主导指标法	将沙漠化与人类活动结合
中国生物地理区划研究 ^[17]	2002	4 个区域、8 个亚区域、27 个生物地理区、124 个生物地理单元	171 种哺乳动物、509 种高等植物	相似性指数计算、Ward 聚类	结合了综合自然地理区划和生物信息
中国西北干旱区生态区划 ^[18]	2005	3 个生态域、23 个生态区、80 个生态小区	一级包括气候和巨地形系统,二级包括次级地形和地貌系统以及大尺度植被类型,三级包括基质和土壤的差异所造成的局域植被类型的差异	自上而下逐级划分、专家集成和 GIS 模型定量结合	融合西北干旱区的自然地域特征、社会经济规律、农林畜牧产业结构调整等
中国生态水文分区 ^[19]	2008	以 214 个水资源三级区为单元,分 3 个生态水文大区、36 个生态水文区	降水深、径流深、水面蒸发量、产水模数、径流系数、干旱指数、人均 GDP、人口密度以及耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地占幅员面积的百分比等	定性定量结合、ISODATA 模糊聚类	提出并界定了生态水文分区的概念
中国东北植被生态区划 ^[20]	2008	4 个植被生态区、11 个植被生态亚区、34 个植被生态小区	一级区以植被型、热量、水分、地形、地貌、土类等,二级区根据优势群系或群系的结合、土壤亚类,三级区根据优势植物群丛、中地貌、土壤等	先地带性后非地带性,先水平地带性后垂直地带性,先高级植被类型单位后低级植被类型单位。	侧重于植物型、群系和群丛等不同等级
中国沙漠、戈壁生态地理区划研究 ^[21]	2013	3 个一级区、9 个二级区、19 个三级区	一级以气候干温系统为依据,二级以区域地貌基本形态单元为依据,三级以戈壁砾质覆盖体成因及砾型为依据	自上而下逐级划分	首个以沙漠和戈壁为研究对象的分区

1.2 生态地理和格局区划

在生态特征和类型区划基础上,对于宏观的生态格局、地理格局越来越受到重视,而且区划方案多考虑自然、人文和生态因子,形成较为综合的区划方案。生态地理/地域区划是比较典型的方案,主要是在传统自然地理综合区划基础上加入了生态要素和生态格局,是通过对自然地理的整体性和地域分异规律的综合认识,从生态学的角度对该区域进行系统地分类和区划^[22]。区划成果有助于彰显生态系统对全球环境变化的响应效果,同时为区域可持续性发展战略提供宏观框架。我国生态地理区域划分,主要考虑了自南而北的纬向分

异、自东而西的经向分异、自低而高的垂直分异、岩性等引起的局地地方性分异和气候等微地貌引起的微地域分异等因素。郑度等^[23]依照综合自然地理区划的思想和方法,将中国生态地理依次划分为 11 个温度带、4 类干湿地区、49 个自然区,具有代表性。近期的研究则基于 GIS 平台的 SOFM 网络进行综合自然区划,使划分层次更加明显、区域分割更加清晰^[24]。

为了更加全面的反映在人类活动影响下的生态地理格局的演变特征,越来越多的学者把人口、社会、经济和土地利用状况加入到了区划指标分类体系当中。针对生态整治规划缺乏考虑区域生态特征和经济特点的状况,傅伯杰等^[25]在充分认识区域生态系统特征的基础上,建立了我国生态区划的原则、方法和指标体系。谢高地等^[26]尝试以中国各县为基本区划单元,运用现代生态学理论、区划理论以及 GIS 技术手段,进行模糊聚类等半定量分析,得到了完整县域边界的生态区划方案。

国内比较典型的区划方案见表 2,从中可以看出,生态地理和格局区划原则包括:地带性与非地带性相结

表 2 中国生态地理和格局区划方案

Table 2 Regionalization for ecological geography and pattern

名称 Name	年代 Year	分区方案 Scheme	分区指标 Indices	分区方法 Methods	主要特点 Characteristics
中国西部生态区划及其区域发展对策 ^[27]	2000	7 个一级区、22 个二级区	一级区依据大地构造与地貌类型、水热气候指标,二级区参考温湿因素、不同生态系统的结构组合和功能特点、地形差异、人类活动强度等	定量和定性方法的结合	针对西部地区,并加入了人类活动强度
西北五省(区)生态环境综合分区及其建设对策 ^[28]	2002	18 个生态环境区、46 个生态环境亚区、107 个小区	气候、地貌和人类经济活动等	从上向下和由下向上合并的反复叠加过程、专家集成模拟辅助	以图像遥感解译为主,结合野外实际考察,并通过抽样验证
中国生态地理区域系统研究 ^[23]	2008	11 个温度带、4 类干湿地区、49 个自然区	温度带的划分指标包括>10℃的天数、1 月平均气温、7 月平均气温等,干湿地区依据年干燥度数、天然植被等,自然区划分参考海拔、地形起伏等	自上而下和自下而上结合	依照综合自然地理区划的思想和方法,具有代表性
基于 GIS 与 SOFM 网络的中国综合自然区划 ^[24]	2011	8 个温度带、17 个干湿地区、43 个自然区	温度指标、水分指标、地形、植被指标	GIS 技术、基于 SOFM 网络的非监督分类	对传统区划方法的补充
保持县域边界完整性的中国生态区划方案 ^[26]	2012	4 个生态大区、11 个生态地区、63 个生态区。	生态大区依据温度、降水、海拔、植被指数、气候带等,生态地区依据地貌特征,生态区依据生态系统服务和植被类型	以中国各县为区划单元,采用聚类、空间叠置、主导标志、模糊聚类等	保持了县域边界的完整性,没有严格遵循青藏高原、黄土高原、云贵高原等的自然边界
中国生态区划研究 ^[29]	2013	3 个生态大区、13 个生态地区、57 个生态区	生态大区指标包括干燥度、湿润状况、年均温度、地势差异,二级区包括年均温、>10℃积温、年降水量、地带性植被,三级区包括地貌类型、生态系统类型、人类活动	自上而下逐级划分、专家集成、模型定量结合	在传统三大区划基础上,考虑生态敏感性、人类活动等因素
基于 Holdridge 和 CCA 分析的中国生态地理分区的比较 ^[30]	2013	18 个区	中国 668 个站点多年气候数据,包括平均生物温度、蒸散发、可能蒸散、蒸散、综合湿润度指数、干燥度、温暖指数、热量系数、温暖系数、寒冷系数、干燥度系数、可能蒸散率,1 月和 7 月月平均气温、月最低气温、月最高气温、极值温度差值和年平均降水量、夏季降水量、≥0℃和≥10℃积温等	CCA 分析	结合自然区划和生态地理两种方法,应用生态群落和遥感数据

合原则、发生同一性与区内特征相对一致原则、区域空间连续性原则、综合性和主导因素原则、耦合全球环境变化等。人类活动要素的加入是生态格局区划的重要特点,也是生态区划面向生态环境管理和调控的重要发展。

1.3 生态功能和服务区划

生态功能区划是近年来发展较快的领域,主要强调生态系统提供服务和受到胁迫的程度,更侧重于生态功能类型、重要性、敏感性等。此类区划在充分考虑自然资源的保护和可持续性利用的前提下,针对区域自然地理分异性、生物多样性以及人与自然发展的不均衡性等问题,整合并分异不同生态功能对人类活动影响的敏感性特征^[31]。国内已经进行了较多关于生态功能和服务的区划,生态功能区划最为代表性的是欧阳志云和傅伯杰等所做的中国生态功能区划及一系列评估区划。首先,针对全国的生态问题进行评估,如酸雨、荒漠化、石漠化、水土流失、盐渍化、石漠化、风蚀等不同生态过程构建了生态敏感性分区。在此基础上,采用自上而下的划分方法,针对洪水调蓄、水源涵养、土壤保持、防风固沙、生物多样性维持等重要生态功能进行评估,并区分不同区域的重要性。其后更多的研究是在此基础上进行的细化和完善,比如中国水土流失敏感性区划^[32]、中国生态环境胁迫过程区划^[33]、中国生态服务功能重要性分区^[34]、中国生态敏感性区划^[35]、中国水土保持区划^[36]等(表3)。

表3 中国生态功能和服务区划方案

Table 3 Regionalization for ecological function and ecosystem services

名称 Name	年代 Year	分区方案 Scheme	分区指标 Indices	分区方法 Methods	主要特点 Characteristics
中国生态资产区划的理论与应用 ^[37]	1999	东部高值区 5 个分级、西部低值区 4 个分级	以森林、草地、农作物 3 种生态系统类型,计算 5 种生态资产(涵养水源、保持土壤、固定二氧化碳和释放氧气、游憩、野生珍稀物种)	替代市场、影子价格、模拟市场价格、支付意愿、消费者剩余等	基于各个省的生态资产核算,利于行政管理 and 应用
中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究 ^[32]	2001	2 个一级区、7 个二级区、31 个三级区	降水、土壤质地、地形、植被等因子	通用水土流失方程	侧重于水土流失敏感性及其影响因子
中国生态环境胁迫过程区划 ^[33]	2001	2 个大区、10 个区、29 个亚区	大区依据人口密度、工业密度、农业经济密度等,区按照废水和废气排放强度、化肥使用强度、农药使用强度、粮食生产负荷、用水负荷等,亚区参考酸雨、水环境、空气质量	叠置法、自下而上的聚类法、多元线性判别函数	主要以人类活动和社会经济为主
生态经济区划研究-以西北 6 省为例 ^[38]	2005	4 个一级区、13 个二级区、27 个三级区	一级区以大地貌单元、自然地带、农业生产和人类活动为主,二级区以水热条件为主,三级区以社会经济活动强度为主	自上而下的划分、不同层级和叠置分析	既考虑自然要素,又考虑社会经济活动
中国生态功能区划 ^[39]	2007	3 个生态大区、50 个生态区、206 个生态亚区、1434 个生态功能区	生态环境问题、生态系统敏感性、生态系统服务功能重要性	自上而下划分,利用空间叠置、相关分析、专家集成等	综合性、创新性
全国重点流域水生态功能分区 ^[40-50]	2012	分为四级区,在国内重点流域和湖泊开展	一级二级区多以地貌、气候、土壤、植被为主,三级区多以土地利用、社会经济、生态功能为主,四级区侧重于水生生态系统特征和水生生物栖息环境	自上而下和自下而上相结合	侧重陆地生态系统对水生生态系统影响
中国水土保持区划方案初步研究 ^[36]	2013	8 个一级区、41 个二级区、117 个三级区	自然地理、水土流失、生态环境、经济社会等特征	自上而下与自下而上相结合的方法	提出了水土保持区划原则、指标体系和命名规则

生态功能区划强调由环境资源差异、生态演替和干扰所产生的空间异质性,多通过识别生态过程的关键因子、空间格局、敏感性以及驱动因子,揭示生态系统功能的区域差异,尤其是生态系统潜在供给能力。通过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。虽然生态功能区划目的是考虑人类活动影响,但是对于生态系统服务的需求考虑仍然不够。近年来也有部分研究针对生态资产进行评估,对生态功能进行价值评估,主要使用自然稀缺指数来衡量,同时纳入产业结构、人类活动强度、城镇化程度等人为影响指标,但也主要从供给角度进行定量化。生态经济区划则是从社会经济活动角度开展分区,对于生态系统完整性和生态功能方面考虑较少,而且也缺少全国尺度的研究。

2 存在的主要问题

(1) 缺少面向服务供需的生态系统区划。中国生态系统研究已经从生态格局、生态功能向生态服务发展,在不同生态功能的区域管理和调控方面起到重要作用。而且对于生态服务的认识也越来越重视,生态服务价值的估算也按照国际标准进行了大量研究和本地化^[12,51]。此外,国际上已经有很多研究关注生态系统服务的供给、需求和流动,对于生态系统服务制图也从供给能力制图,慢慢发展到供需制图^[9-12, 52]。国内在这方面的研究相对来讲较少,也是下一步需要加强的研究领域。

(2) 缺少生态制图和更新的标准化技术。通过收集中国不同时期和不同类型的生态区划方案,发现制图技术和结果差异巨大。尤其表现在两个方面:第一、区划结果难以直接对比。不同方案之间采用的数据、方法均有差异,即便同样区划方法和数据,在制图技术方面也存在差异,造成区划结果难以进行直接对比。第二、制图自动化和更新技术缺乏。现有的多数区划方案,从因子收集到制图结果缺少标准化流程,制图过程比较复杂,而且很多制图因子难以更新。因此,需要建立更加精炼的分区因子选择标准、处理规程、制图技术、保存规范等。而且,区划表达方式也需要多样化,利于对比、推广和应用。

3 未来展望

(1) 明确不同生态区划的科学或管理目标。现有的大多数地理/生态区划已经对生态系统本身的异质性进行了较好的归纳和总结,未来的生态区划不能简单的对生态系统进行分类和分区,而是应该有更加明确的科学目的或者管理目标。在具体的分区过程中,应该坚持“多因子分区面向一个具体目的,而非单因子分区面向多个目标”。比如,水生态功能涉及到水文、环境、气候、生物、经济等不同领域的影响要素,利用不同学科的理论和方法进行指标筛选,但是最终分区结果是为了维持水生态系统健康和完整,为环保部门水质目标制定提供依据。

(2) 强调人类需求对于生态系统服务的影响。人类作为生态环境的一个重要组成部分,在生态区划中,人类需求和福祉越来越受到重视。现在的多数生态功能区划是基于生态系统潜在的供给能力,比如生态系统面积乘以权重得出其服务价值。但是这些生态系统服务能否变成人类福祉则没有考虑,造成人类需求和胁迫下的生态系统服务分区较少。未来的区划需要加强面向人类福祉的生态系统服务分区,尤其是考虑生态系统服务的供给、需求、流动等规律和特征,社会-生态综合区划也是需要加强的领域之一。

(3) 重视全球气候变化对生态系统的现实作用和未来影响。在全球变化的背景下生态系统服务的时空异质性受到广泛重视,开展不同气候背景下的生态系统服务制图,有利于提出更加符合全球目标和地方适宜的管理方案,也有利于针对未来气候变化构建合适的应对策略。此外,除了生态系统产品提供能力外,生态系统调节和支持服务在全球气候变化大背景下如何演变,比如水源涵养、土壤保持、碳固持等,也需要系统的时空研究和全球区划制图。

(4) 加强现代制图技术在生态区划的运用。尽管制图技术已经发展多年,遥感、数理统计和地理信息系统等技术也已经比较成熟,并非新鲜事物。但是,如何将其利用对生态区进行划分、更新,仍然需要大量的工作。生态区划从分区数据选取、数据处理、输入建库、结果制图和发布等亟需建立一套标准和规范,从而可以

进行多方案的对比和验证。

(5)整合现有多原则和多目标的生态分区方案。现有的很多分区方案,虽然没有冠以生态区划的名义,但是很多也侧重于生态系统的分类、分区、分级等,将这些分区方案按照不同原则进行归纳和收集,可以归纳和完善生态分区的技术方法,为生态系统管理提供有价值的参考。

参考文献 (References):

- [1] 郑度, 欧阳, 周成虎. 对自然地理区划方法的认识与思考. 地理学报, 2008, 63(6): 563-573.
- [2] 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, 2001, 21(1): 1-6.
- [3] Dinerstein E, Olson D, Joshi A, Vynne C, Burgess N D, Wikramanayake E, Hahn N, Palminteri S, Hedao P, Noss R, Hansen M, Locke H, Ellis E C, Jones B, Barber C V, Hayes R, Kormos C, Martin V, Crist E, Sechrest W, Price L, Baillie J E M, Weeden D, Suckling K, Davis C, Sizer N, Moore R, Thau D, Birch T, Potapov P, Turubanova S, Tyukavina A, de Souza N, Pintea L, Brito J, Llewellyn O A, Miller A G, Patzelt A, Ghazanfar S A, Timberlake J, Klöser H, Shennan-Farpon Y, Kindt R, Lillesø J P B, Van Breugel P, Graudal L, Vogé M, Al-Shammari K F, Saleem M. An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience*, 2017, 67(6): 534-545.
- [4] Cheruvilil K S, Yuan S, Webster K E, Tan P N, Lapierre J F, Collins S M, Fergus C E, Scott C E, Henry E N, Soranno P A, Filstrup C T, Wagner T. Creating multithemed ecological regions for macroscale ecology: testing a flexible, repeatable, and accessible clustering method. *Ecology and Evolution*, 2017, 7(9): 3046-3058.
- [5] Martín-López B, Palomo I, García-Llorente M, Iniesta-Arandia I, Castro A J, Del Amo D G, Gómez-Baggethun E, Montes C. Delineating boundaries of social-ecological systems for landscape planning: a comprehensive spatial approach. *Land Use Policy*, 2017, 66: 90-104.
- [6] Omernik J M. Perspectives on the nature and definition of ecological regions. *Environmental Management*, 2004, 34(S1): S27-S38.
- [7] Berline L, Rammou A M, Doglioli A, Molcard A, Petrenko A. A connectivity-based eco-regionalization method of the Mediterranean Sea. *PLoS One*, 2014, 9(11): e111978.
- [8] Solans M A, Mellado-Díaz A. A landscape-based regionalization of natural flow regimes in the Ebro River Basin and its biological validation. *River Research and Applications*, 2015, 31(4): 457-469.
- [9] Darvill R, Lindo Z. Quantifying and mapping ecosystem service use across stakeholder groups: implications for conservation with priorities for cultural values. *Ecosystem Services*, 2015, 13: 153-161.
- [10] Peña L, Casado-Arzuaga I, Onaindia M. Mapping recreation supply and demand using an ecological and a social evaluation approach. *Ecosystem Services*, 2015, 13: 108-118.
- [11] Egarter Vigl L, Depellegrin D, Pereira P, De Groot R, Taoeuber U. Mapping the ecosystem service delivery chain: Capacity, flow, and demand pertaining to aesthetic experiences in mountain landscapes. *Science of the Total Environment*, 2017, 574: 422-436.
- [12] Costanza R, De Groot R, Sutton P, Van Der Ploeg S, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [13] 郭慧, 王兵, 牛香. 中国典型生态区划方案对比研究. 广东农业科学, 2013, 40(3): 186-188.
- [14] 李万. 中国景观区划初步研究. 地理科学, 1982, (4): 358-367.
- [15] 倪健, 陈仲新, 董鸣, 陈旭东, 张新时. 中国生物多样性的生态地理区划. 植物生态学报, 1998, 40(4): 370-382.
- [16] 李森, 董玉祥, 董光荣, 杨萍, 张春来. 青藏高原土地沙漠化区划. 中国沙漠, 2001, 21(4): 418-427.
- [17] 解焱, 李典谟, MacKinnon J. 中国生物地理区划研究. 生态学报, 2002, 22(10): 1599-1615.
- [18] 倪健, 郭柯, 刘海江, 张新时. 中国西北干旱区生态区划. 植物生态学报, 2005, 29(2): 175-184.
- [19] 杨爱民, 唐克旺, 王浩, 程金花. 中国生态水文分区. 水利学报, 2008, 39(3): 332-338.
- [20] 徐文铎, 何兴元, 陈玮, 刘常富, 赵桂玲, 周园. 中国东北植被生态区划. 生态学杂志, 2008, 27(11): 1853-1860.
- [21] 申元村, 王秀红, 丛日春, 卢琦. 中国沙漠、戈壁生态地理区划研究. 干旱区资源与环境, 2013, 27(1): 1-13.
- [22] 高江波, 黄姣, 李双成, 蔡运龙. 中国自然地理区划研究的新进展与发展趋势. 地理科学进展, 2010, 29(11): 1400-1407.
- [23] 郑度. 中国生态地理区域系统研究. 北京: 商务印书馆, 2008: 40-61.
- [24] 黄姣, 高阳, 赵志强, 李双成. 基于 GIS 与 SOFM 网络的中国综合自然区划. 地理研究, 2011, 30(9): 1648-1659.
- [25] 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.
- [26] 谢高地, 张昌顺, 张林波, 苏德, 曹淑艳, 冷允法, 肖玉. 保持县域边界完整性的中国生态区划方案. 自然资源学报, 2012, 27(1): 154-162.
- [27] 傅伯杰, 刘国华, 孟庆华. 中国西部生态区划及其区域发展对策. 干旱区地理, 2000, 23(4): 289-297.
- [28] 刘胤汉, 管海晏, 李厚地, 王永, 刘晓靖. 西北五省(区)生态环境综合分区及其建设对策. 地理科学进展, 2002, 21(5): 403-409.

- [29] 傅伯杰, 刘国华, 欧阳志云. 中国生态区划研究. 北京: 科学出版社, 2013: 66-85.
- [30] 孔艳, 江洪, 张秀英, 金佳鑫, 肖钟湧, 程苗苗. 基于 Holdridge 和 CCA 分析的中国生态地理分区的比较. 生态学报, 2013, 33(12): 3825-3836.
- [31] 蔡佳亮, 殷贺, 黄艺. 生态功能区划理论研究进展. 生态学报, 2010, 30(11): 3018-3027.
- [32] 王效科, 欧阳志云, 肖寒, 苗鸿, 傅伯杰. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究. 生态学报, 2001, 21(1): 14-19.
- [33] 苗鸿, 王效科, 欧阳志云. 中国生态环境胁迫过程区划研究. 生态学报, 2001, 21(1): 7-13.
- [34] 欧阳志云, 郑华, 高吉喜, 黄宝荣. 区域生态环境质量评价与生态功能区划. 北京: 中国环境科学出版社, 2009: 97-109.
- [35] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究. 生态学报, 2000, 20(1): 9-12.
- [36] 赵岩, 王治国, 孙保平, 张超, 纪强, 冯磊, 赵乾坤. 中国水土保持区划方案初步研究. 地理学报, 2013, 68(3): 307-317.
- [37] 黄兴文, 陈百明. 中国生态资产区划的理论与应用. 生态学报, 1999, 19(5): 602-606.
- [38] 王传胜, 范振军, 董锁成, 薛东前, 李泽辉. 生态经济区划研究——以西北6省为例. 生态学报, 2005, 25(7): 1804-1812.
- [39] 欧阳志云. 中国生态功能区划. 中国勘察设计, 2007, (3): 70-70.
- [40] 孙小银. 松花江流域水生态功能一二级分区研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2011.
- [41] 张博. 辽河流域水生态功能一、二级分区研究[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2011.
- [42] 孙然好, 汲玉河, 尚林源, 张海萍, 陈利顶. 海河流域水生态功能一级二级分区. 环境科学, 2013, 34(2): 509-516.
- [43] 梁静静, 左其亭, 窦明. 淮河流域水生态区划研究. 水电能源科学, 2011, 29(1): 20-22, 115-115.
- [44] 任斐鹏. 东江流域水生态功能分区研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2011.
- [45] 许莎莎. 黑河流域水生态功能分区研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2012.
- [46] 高俊峰, 高永年. 太湖流域水生态功能分区. 北京: 中国环境科学出版社, 2012: 44-56.
- [47] 方红亚, 刘足根. 赣江流域水生态系统特征研究. 南昌: 江西科学技术出版社, 2012: 76-84.
- [48] 高永年, 高俊峰. 太湖流域水生态功能分区. 地理研究, 2010, 29(1): 111-117.
- [49] 杨顺益, 唐涛, 蔡庆华, 肖文, 汪兴中, 李凤清, 唐佳. 洱海流域水生态分区. 生态学杂志, 2012, 31(7): 1798-1806.
- [50] 高喆, 曹晓峰, 黄艺, 李发荣. 滇池流域水生态功能一二级分区研究. 湖泊科学, 2015, 27(1): 175-182.
- [51] Schägner J P, Brander L, Maes J, Hartje V. Mapping ecosystem services' values: current practice and future prospects. Working Papers, 2013, 4: 33-46.
- [52] Maes J, Egoh B, Willemsen L, Liqueste C, Vihervaara P, Schägner J P, Grizzetti B, Drakou E G, La Notte A, Zulian G, Bouraoui F, Paracchini M L, Braat L, Bidoglio G. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. Ecosystem Services, 2012, 1(1): 31-39.