

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.03.004

水生生态功能分区研究

黄晓霞¹ 江 源^{2,3} 熊 兴⁴ 和克俭¹ 张 勇¹

(1. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091; 2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875;
3. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;
4. 北京中咨海外咨询有限公司, 北京 100048)

摘要 :总结陆地生态系统的生态功能分区的基本功能,通过分析水生生态系统功能的概念,指出水生生态功能分区研究应重视流域水生生态系统功能的机制研究、尺度问题和人类活动影响,并在对比分析相关区划方案的基础上,提出了流域水生生态功能区划分区指标体系的构想。

关键词 水生生态系统;生态系统功能;生态系统服务;功能区划

中图分类号:X171.4 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2012)03-0022-06

Study of aquatic eco-functional zoning

HUANG Xiao-xia¹, JIANG Yuan^{2,3}, XIONG Xing⁴, HE Ke-jian¹, ZHANG Yong¹

(1. School of Resources, Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, China;
2. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
3. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
4. CIECC Overseas Consulting Company, Beijing 100048, China)

Abstract :Based on analysis of the concept of aquatic ecosystem functions, the basic functions of eco-functional zoning of terrestrial ecosystems are summarized in this paper. It is pointed out that research of aquatic eco-functional zoning should focus on mechanism build-up, scale factors, and human activities. An index system framework for aquatic eco-functional zoning is presented through comparison and analysis of existing zoning schemes.

Key words :aquatic ecosystem; ecosystem function; ecosystem service; functional zoning

生态系统的功能与服务是生态系统研究的重要领域和热点问题。在人与自然和谐发展的诉求越来越强烈的今天,陆地生态系统的功能与服务研究已受到广泛关注。越来越多的研究者和政府机构认识到,成功的水资源与水环境管理需要从整个生态系统的角度入手,并重视水生生态系统的功能与服务研究。国际上已开展了大量水生生态分区及水生生态功能分区研究,并将其作为水资源管理的常用基本单元,用于指导流域水环境管理且成效显著^[1-3]。我国在生态区划及生态功能区划成功实施的基础上,正在

逐步开展水生生态功能分区研究^[4-7]。笔者拟总结和借鉴已有生态功能分区成果,针对水生生态系统功能的特点,提出一些水生生态功能分区研究的建议。

1 水生生态系统的功能与服务

1.1 生态系统功能与生态系统服务

在 Odum^[8]的观点中,生态系统功能是生态系统的物质循环、能量流动和信息传递三大基本功能。也就是说,生态系统功能是生态系统本身所具备的一种基本属性,独立于人类而存在。而 Groof^[9]则认

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501002);国家自然科学基金(41101176);云南省应用基础研究面上项目(2009CD020)

作者简介:黄晓霞(1978—),女,副教授,博士,主要从事植被生态学及景观生态学研究。E-mail:huangxx@ynu.edu.cn

通讯作者:江源,教授。E-mail:jyiang@bnu.edu.cn

为,生态系统功能是生态系统为人类直接或间接提供服务的能力,并将生态系统功能分为调节功能、生境功能、产出功能和信息功能四大类。这样看来,生态系统功能应该指能为人类提供产品和服务;并且只包含那些对人类有用的生态系统过程。

而目前被人们广泛接受的生态系统服务概念是 Constanza 等^[10]提出的,它指人类直接或间接从生态系统功能中获得的收益,包括生态系统产品和服务。千年生态系统评估(millennium ecosystem assessment)也基本采用了这个观点。并在 Constanza 的 17 种服务分类基础上,将生态系统服务归纳为支持、调节、提供和文化服务 4 大类^[11]。Boyd 等^[12]认为,生态系统服务并不是人类从生态系统获得的收益本身,而是能为人类提供福利的生态组分。那么在这种概念下,生态系统服务就包括了能被人类直接或间接利用的生态系统结构、过程或功能。生态系统过程或功能对人类有用的时候就成了生态系统服务。

1.2 水生态系统的功能与服务

人们关注水生态系统功能,是基于水环境管理和水资源保护需求的,也就是以服务于人类社会发展的需要为出发点的。在这个背景下,水生态系统功能是指能被人类直接或间接利用的水生态系统的过程或功能,即水生态系统及其生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[13]。换句话说,对人类有用的水生态系统过程或功能,即是水生态系统服务。当然,生态系统功能是构建系统内生物有机体生理功能的过程,是维持生态系统服务的基础,其多样性对于持续地提供产品的生产和服务至关重要。水生态系统服务是由水生态系统功能产生的,是生态系统功能满足人类福利的一种表现^[14]。

生态系统的服务主要可以分为提供产品、调节服务、生命支持服务和文化服务四大类^[11]。而其对应的生态系统功能则可以划分为生产功能、调节功能、生境支持功能和信息功能四类,其中生境支持功能和其他三类生态系统功能的支持基础^[9]。具体到水生态系统功能,则是水域生态系统,也应包括水陆交错带,甚至是与之密切相关的流域内陆地生态系统所提供的生态系统功能。水域生态系统的生境支持功能及所提供的生命支持服务,是支撑水生态系统其他类型服务与功能的基础。但实际上,水生态系统的调节功能,也是由与之相关的流域陆地生态系统所支持和影响的,从作用形式来看,这种功能是一种间接功能^[15]。因此不能忽略陆地生态系统功能与水生生态系统功能之间的关系。

2 生态功能分区

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。生态区划是对生态地域和生态单元的划分和合并研究^[16]。自美国生态学家 Bailey^[17]开展了真正意义上的生态分区之后,美国林务局(Forest Service)、环境保护署(Environmental Protection Agency, EPA)^[18]、世界野生生物基金组织(World Wildlife Fund, WWF)^[19-22]等机构,分别从林牧资源管理、流域水质管理及生物多样性保护等角度先后开展了相关工作,研究范围从最初的地区扩展到整个国家,进而到对全球的陆地、淡水以及沿海大陆架进行生态分区,生态区划及生态功能分区成为环境资源调查和评估,制定区域资源管理目标和可持续发展战略的有效工具。

我国过去以植被(生态系统)为主体的植被区划和自然生态区划方面的研究工作已取得诸多成果^[23-28],但近期才先后完成了针对陆地生态系统的全国生态区划和全国生态功能区划。我国的生态功能分区是根据区域生态系统类型、生态环境敏感性和生态服务功能的空间分异规律,在生态区划的基础上,将区域划分成不同生态功能区的过程^[29-30],其本质就是生态系统服务功能的区划^[31]。与此同时,省域范围内及一些典型流域^[32-33]的生态功能区划也逐步开展,并深入细化到诸如农业生态功能^[34]或是具体的生态调节功能类型上^[35]。生态功能分区研究的理论基础和方法体系逐步形成,但还有大量工作需要深入。

3 水生态功能分区

3.1 流域水生态功能区划的提出

我国流域生态环境问题日益集中和突出,现行区划难以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,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,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^[4]。因此,在我国开展流域水生态功能区划研究就显得十分迫切和重要。

3.2 区划研究的主要问题

已有的生态功能区划主要针对陆地生态系统。目前我国针对流域的水生态系统功能与服务的深入研究还相当缺乏,在流域尺度上的管理与资源利用协调等方面都相对薄弱^[5]。流域生态功能区划需要基于流域水生态过程分析,评估流域水生态健康,识别流域水生态过程的驱动因子,明确各区域的主导生态系统服务功能,划定对流域生态系统健康起关键作用的重要生态功能区域^[6]。因此其研究应重视以下几个问题。

3.2.1 机制研究

流域水生生态功能分区,要体现流域水生生态系统的区域差异,流域内不同类型区域生物区系、群落结构和水体理化环境的异同,以及流域水生生态系统的空间格局和尺度效应^[7],就必须对流域生态系统能量、物质和生物流动与分布规律,流域生态系统承载能力、稳定性及其反馈机制,流域生态系统物质循环特征,流域生态服务功能时空演变过程等科学问题进行深入研究和分析。也就是说,揭示水生生态系统结构-过程-服务及功能的相互关系,明确生态系统服务及功能形成机制,是当前水生生态系统服务与功能研究的关键问题。而生态系统的空间格局分析、生态系统的生态过程分析以及生态系统的动态演替分析,成为其中重点分析的问题^[6]。此外,生物多样性与水域生态系统功能之间的关系研究也应该受到重视。

3.2.2 尺度问题

已有的研究表明,水生生态系统的结构和功能是由各种影响因素在不同尺度上的综合作用所决定的,宏观尺度上有区域地质和气候等因素的作用,中微尺度上有河道水动力学、河道形态、栖息地环境等因素作用,人类活动的干扰也通过各个尺度因素变化发挥作用^[36]。这种不同尺度上各种因素的综合作用决定了水生生态系统的空间特征与演变趋势^[37]。当然,生态系统服务功能的形成也依赖于一定的空间和时间尺度上的生态系统结构与过程,只有在特定的时空尺度上才能表现其显著的主导作用和效果。不同尺度的生态系统服务功能对不同尺度上的利益相关方来说具有不同的重要性^[38]。如水生生态系统产品提供功能往往与当地居民的利益更密切,调节功能和支持功能通常与区域、全国,甚至全球尺度的人类利益相关,文化功能则与本地-全球尺度上的利益相关方关系密切^[15]。因此,在水生生态功能区的划分中重视尺度特征与多尺度关联,可以体现水生生态系统的空间层次结构,并且对水生生态系统的影响因素进行筛选,从而揭示出水生态系统的演变机理,明确水生生态功能的范围、空间尺度的范围和持续时段,对于景观和区域层次的保护及水资源、水环境管理及规划也具有重要意义^[39]。

3.2.3 人类活动影响

我国已有的生态功能分区研究,强调人工生态系统在整个生态系统中的地位,偏重于评价生态系统对人类的服务功能,与美国的相关研究注重自然生态系统不同,具有一定的片面性和功利性^[40]。而随着人类活动影响加剧,系统研究人类活动对水生生态系统服务功能的影响和生态系统服务功能的响应与变化意义重大。因此客观评价分析区域发展政

策、土地利用变化和自然资源利用行为对水生生态系统服务功能的影响,揭示政策变化、消费方式和土地利用等人类活动对生态系统服务功能维持与保育的效应,以提出水生生态系统服务功能保育、可持续利用和生态安全的管理策略^[38],在水生生态功能分区体系制定中应特别注意。

3.3 与我国其他类型相关区划的区别与联系

我国已开展的与生态系统相关的代表性的区划有《生态区划》^[41]、《生态功能区划》^[30],而与水及水生生态系统相关的区划有用于水资源管理的《水文区划》^[42]、以水质管理为目标的《水功能区划》^[43-44]、确定河流生态环境需水量的《生态水文区划》^[45]、进行水生生态管理的《水生生态分区》^[39]和服务于水环境管理的《水环境功能区划》^[46]。而目前开展的《水生生态功能区划》则在已有的区划基础上,借鉴和参考过去相关区划,特别是水功能分区和生态功能分区等成果,主要通过定位并评价流域的水生生态功能,力求能够综合考虑经济-社会-生态可持续发展趋势,兼顾水生生态系统服务功能与人类对水资源的需求,以实现流域生态系统管理和水资源保护目标^[5]。因此在区域划分上,跟以往的以河段划分为主要的相关水区划不同,水生生态功能区划将区域划分与河段划分相结合,同时既是生态特征分区,也是生态功能分区(表1)。

3.4 指标体系构建

通过对与水生生态系统相关的诸多区划指标体系的归纳与对比分析(表2)可以看到,针对我国陆地生态系统功能进行的《全国生态功能区划》和《水生生态分区》最值得借鉴。《全国生态功能区划》在依据我国的气候和地貌等自然条件,将全国陆地生态系统划分为3个生态大区的基础上,首先根据生态系统的自然属性和所具有的主导服务功能类型,将全国划分为生态调节、产品提供与人居保障3类生态功能一级区。然后依据生态功能重要性划分生态功能二级区,其中生态调节功能包括水源涵养、土壤保持、防风固沙、生物多样性保护、洪水调蓄等功能,产品提供功能包括农产品、畜产品、水产品和林产品;人居保障功能包括人口和经济密集的大都市群和重点城镇群等。最后按照生态系统与生态功能的空间分异特征、地形差异、土地利用的组合来划分生态功能三级区^[30]。《水生生态分区》的区划目标与水生生态功能区划比较接近,都是为了进行水生生态管理,在区划指标的选择上也较多考虑了流域的陆地生态系统对水域生态系统的影响^[39]。但由于水生生态功能区划要兼顾区域划分与河段划分,水功能区划的成果也应充分参考。

表 1 流域水生态功能区划与我国其他相关区划的对比

区划名称	针对问题	特点	核心任务	类型
生态区划 ^[16]	生态要素区划和生态环境综合区划	既考虑生态因素和环境因素的特征,又考虑区域生态系统的功能	研究生态资产的分布,生态胁迫过程和生态敏感性,制订中国生态环境综合区划方案	特征分区+功能分区 区域划分
生态功能区划 ^[29]	在生态区划的基础上,进行生态功能区划分	注重景观中的生态功能过程及其与格局作用机制的地域差异	划分生态功能区,确定不同生态地域和生态系统的主导功能,明确各生态功能的特点和重点生态功能区	功能区划 区域划分
生态水文区划 ^[45]	确定河流生态环境需水量的空间差异性	综合考虑河流水文、生态环境功能、及生态环境需水量的影响因素和空间特征	基于河流生态环境需水量研究,进行生态水文空间单元的划分与整合	特征分区+功能分区 区域划分+河段划分
水文区划 ^[42]	反映流域水文循环过程与时空变化规律,用于水资源管理	主要基于河流水文观测资料,结合与其有紧密联系的自然条件,按照水文现象的相似性与差异性,划分区域	探讨各水文区域水文现象的分布、变化规律,各项水文要素间及其与其他自然地理因素间的相互联系,阐明水文条件对生产的利、弊方面	特征分区 河段划分
水生态分区 ^[39]	反映流域水生态系统在不同空间尺度下的分布格局,以便进行水生态管理	多考虑自然因素与河流生态系统类型之间的因果关系,通过不同尺度下的地形、气候、水文以及地貌类型等要素来反映水生态系统的基本特征	对水生态系统的层次结构与影响因素进行分析,揭示流域水生态系统的空间规律,反映水生态系统特征及其与自然影响因素的关系	特征分区 区域划分
水功能区划 ^[43]	以水质管理为目标,明确特定水域的主导功能和水质管理目标	以人类用水功能需求为区划基础,针对水环境保护需求确定水质标准,对水体进行区段划分及功能界定	划分特定的水体区段,确定其主导功能并执行相应水质管理标准,以便合理开发和有效保护水资源	功能分区 河段划分
地表水环境功能区划 ^[46]	划定水域分类管理功能区,实现流域水质保护目标	依据特定水体水域的使用功能,尤其是其规划主导功能,执行地表水环境质量标准	针对水域使用功能、经济发展及污染源总量控制要求,划定相应的水环境功能区类型	功能分区 河段划分
流域水环境功能区划 ^[47]	水域分类管理功能区划分,服务于水环境管理	以流域为单元,以权衡水生态功能和人类需求功能为区划核心,优先满足水生态系统维持自身生态功能的水量需求	充分考虑水生态系统完整性及区域差异性,综合权衡水生态需求功能与人类需求功能,确立基于水质、生物和生态流量的水环境保护目标	功能分区 河段划分
水生态功能区划 ^[6]	定位并评价流域水生态功能,实现流域生态系统管理和水资源保护目标	兼顾水生态系统服务功能与人类对水资源的需求,综合考虑经济-社会-生态可持续发展趋势,在流域尺度上进行水生态功能区的划分	评估流域水生态健康状况,识别流域水生态过程的驱动因子,明确各区域的主导功能及生态环境保护目标,划定对流域生态系统健康起关键作用的重要水生态功能区	特征分区+功能分区 区域划分+河段划分

表 2 相关区划的分区指标体系

区划名称	分区级别	主导因素	分区指标
生态区划 ^[41]	一级区	大地理位置-温湿状况	水热气候指标、地势差异
	二级区	温湿状况-典型地带性植被	温湿指标、地带性植被类型及分异规律
	三级区	地貌类型-生态系统类型-人类活动因素	地貌类型、生态系统类型、人类活动指标
生态功能区划 ^[30]	一级区	主导服务功能	主导服务功能类型
	二级区	生态功能类型	生态功能重要性
	三级区	生态功能差异性	生态系统功能组合
生态水文区划 ^[45]	一级区	水系格局	流域水系
	二级区	河流生态环境需水量的区域差异	径流深度、干燥度、地形格局
	三级区	河流不同河段的生态环境需水量的差异	地貌类型、海拔高度、水生态状况河湖分布、河段划分、水库节点
水文区划 ^[42]	一级区	河川径流量	径流深度
	二级区	径流的年内分配和径流动态	河流补给、水量,河流水情、水量
水生态分区 ^[39]	一级区	水文条件	径流深度
	二级区	地貌、植被、土壤、土地利用	地貌类型、植被类型、土壤类型、土地类型
水功能区划 ^[43]	一级区	地区间用水关系协调	集水面积、水质、水量、产值、人口
	二级区	各市和市内用水部门之间的关系协调	人口、产值、灌溉、取水情况,渔业条件和状况,景观娱乐类型规模;水质、水量,排污情况
地表水环境功能区划 ^[46]	一级区	水域使用功能、污染源总量控制的要求	特定水体水域的使用功能,尤其是其规划主导功能,地表水环境质量标准
流域水环境功能区划 ^[48]	一级区	水体生态功能与人类需求功能的平衡	生态目标与最小水量目标,需求功能权衡,动态管理目标
	二级区	确定主导功能、边界和管理目标	水生态、水质与水量现状评价;生态功能定位与生态目标;生态需水要求,水质、利益权衡

表 3 水生态功能区划的分区指标体系构想

分区域别	主要因素	分区指标	分区结果
一级分区	水生态系统类型 主导生态功能	水生态系统类型 主导生态功能类型	I 生态调节功能区 ;II 产品提供功能区 ;III 人居保障功能区
二级分区	水生态系统 功能类型	流域地貌类型、植被类型、土壤 类型、土地利用类型、水质、水 量、水生物多样性、社会经济指 标、行政区划指标	I ₁ 饮用水水源地 ;I ₂ 生物多样性保护区 ;I ₃ 洪水调蓄区 ;I ₄ 水质净化区 ;I ₅ 过渡缓冲区 ; II ₁ 水产品提供区 ;II ₂ 水电供应区 ; III ₁ 景观娱乐区 ;III ₂ 生活用水区 ;III ₃ 生产用水区 ;III ₄ 纳污区 ; III ₅ 航运区
三级分区	水生态系统功能重要性 水生态系统敏感性	水生态功能重要性评价 水生态系统敏感性评价	III _{1A} 极为重要 ;III _{2B} 高度重要 ;III _{3C} 重度重要 ;III _{4D} 一般重要

流域的水生态功能区划 ,可以参考陆地生态系统功能划分的区划体系 ,一级分区体现流域水生态系统主导的生态功能类型 ,二级分区则应体现具体的生态功能的差异 ,三级分区可考虑体现生态功能的重要性差异。与陆地生态系统不同的是 ,水生态系统功能分区首先以流域为完整的单元进行划分 ,其生态功能集中体现在水域范围内 ,那么各水系不同河段的功能定位及与之密切相关的集水区范围 ,应该成为区域分区的基本单元 ,同样承担相关的生态功能服务角色。而且 ,流域内地貌、土壤、植被、土地利用等环境条件 ,也影响和制约水域生态系统的生态过程与功能 ,水生态系统功能往往是这些因素综合作用的结果与体现 ,在这个意义上 ,陆域生态系统的主导生态功能定位也决定了相关水域的主导生态功能。基于这些考虑 ,提出如下的分区体系构想及相关的指标体系(表 3)供参考。

4 研究展望

目前 ,我国已完成陆地生态功能分区 ,淡水水域的生态功能分区研究刚刚起步。现行的水生态功能分区在借鉴已有研究的基础上 ,将重点探讨以下几个问题 :①影响水生态功能的因子识别与筛选。流域内影响水生态功能的因子及其空间变化的识别是流域水生态功能分区研究不可缺少的关键环节。由于水生态功能 ,特别是生态系统服务功能与人类活动密切相关 ,因此除了诊断影响水生态的主要自然因子 ,更应注重揭示流域内影响水生态功能的人文因子及其空间变化规律。②流域典型生态系统类型和生态功能的空间及时间尺度效应分析。流域自然和生态系统结构与水生态功能的关系是流域水生态功能分区的重要科学基础。应综合考虑自然、社会经济和资源与环境承载力等多重要素在不同空间和时间尺度上的相互作用 ,建立基于形成机理的流域水生态功能分析模式。③通适性指标体系的构建。针对流域开展的水生态功能分区 ,在充分反映水生生态系统特征的基础上 ,还应与陆地生态功能分区体系相结合 ,兼顾管理的需求 ,建立综合指标体系 ,

实现多要素、多尺度的水生态功能分区。

参考文献 :

[1] OMERNIK J M. Ecoregions of the conterminous United States [J]. Annals of the Association of American Geographers , 1987 ,77(1) :118-125.

[2] OMERNIK J M. Ecoregions : a framework for managing ecosystem[J]. The George Wright Forum ,1995 ,12(1) :35-50.

[3] MOOG O ,SCHMIDT-KLOIBER A ,OFENBÖCK T ,et al. Does the ecoregion approach support the typological demands of the EU“ water framework directive ”? [J]. Hydrobiologia ,516 (1) 21-33.

[4] 黄艺 ,蔡佳亮 ,郑维爽 ,等 .流域水生态功能分区以及区划方法的研究进展[J]. 生态学报 ,2009 ,28(3) :542-548.

[5] 高永年 ,高峻峰 .太湖流域水生态功能分区[J]. 地理研究 ,2010 ,29(1) :111-117.

[6] 黄艺 ,蔡佳亮 ,吕明姬 ,等 .流域水生态功能区划及其关键问题[J]. 生态环境学报 ,2009 ,18(5) :1995-2000.

[7] 李艳梅 ,曾文炉 ,周启星 .水生态功能分区的研究进展 [J]. 应用生态学报 ,2009 ,20(12) 3101-3108.

[8] ODUM E. Fundamentals of ecology [M]. Philadelphia : Saunders ,1971.

[9] DE GROOT R S ,WILSON M A ,BOUMANS R M J. A typology for the classification ,description and valuation of ecosystem functions ,goods and services[J]. Ecological Economics ,2002 ,41(3) 393-408.

[10] COSTANZA R ,DE GROOT R S ,FARBER S ,et al. The value of the world 's ecosystem services and natural capital Nature [J]. 1997 ,387 253-260.

[11] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being Biodiversity synthesis[M]. Washington ,DC :World Resources Institute ,2005.

[12] BOYD J ,BANZHAF S. What are ecosystem services ?the need for standardized environmental accounting units[J]. Ecological Economics ,2007 ,63(2/3) 616-626.

[13] 欧阳志云 ,赵同谦 ,王效科 ,等 .水生态服务功能分析及其间接价值评价[J]. 生态学报 ,2004 ,24 (10) :2091-2099.

[14]冯剑丰 李宇 朱琳.生态系统功能与生态系统服务的概念辨析[J].生态环境学报 2009 18(4) :1599-1603.

[15]张宏锋 欧阳志云 郑华.生态系统服务功能的尺度特征[J].生态学报 2007 26(9) :1432-1437.

[16]傅伯杰 陈利顶 刘国华.中国生态区划的目的、任务及特点[J].生态学报 1999 19(5) :591-595.

[17]BAILEY R G. Ecoregion-based design for sustainability[M]. New York :Springer-Verlag 2002.

[18]OMERNIK J M. Perspectives on the nature and definition of ecological regions[J]. Environmental Management ,2004 ,34 (S1) :27-38.

[19]OLSON D M ,DINERSTEIN E ,WIKRAMANAYAKE E D ,et al. Terrestrial ecoregions of the world :a new map of life on earth[J]. Bioscience 2001 51(11) :933-938.

[20]ABELL R ,THIEME M L ,REVENGA C ,et al. Freshwater ecoregions of the world :a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation[J]. Bioscience ,2008 58 (5) :403-414.

[21]BAILEY R G. Ecoregions :the ecosystem geography of oceans and continents[M]. New York :Springer-Verlag. 1998.

[22]SPALDING M D ,HELEN E F ,GERALD R A ,et al. Marine ecoregions of the world :a bioregionalization of coastal and shelf areas[J]. Bioscience 2007 57(7) :573-583.

[23]侯学煜.论中国植被分区的原则、依据和系统单位[J].植物生态学与地植物学丛刊,1964 2(2) :153-179.

[24]中国科学院中国指标图编撰委员会.中国植被图集 1 :100000[M].北京 :科学出版社 2001.

[25]中国科学院自然区划工作委员会.中国综合自然区划(初稿) [M].北京 :科学出版社 ,1959.

[26]侯学煜.中国自然生态区划与大农业发展战略[M].北京 :科学出版社 ,1988.

[27]葛全胜 赵名茶 郑景云 ,等.中国陆地表层系统分区初探[J].地理学报 2002 57(5) :515-522.

[28]程叶青 张平宇.生态地理区划研究进展[J].生态学报 ,2006 26(10) :3424-3433.

[29]欧阳志云.中国生态功能区划[J].中国勘察设计 ,2007 (3) :70.

[30]中华人民共和国环境保护部 中国科学院.全国生态功能区划[R].北京 :中华人民共和国环境保护部 2008.

[31]蔡佳亮 殷贺 黄艺.生态功能区划理论研究进展[J].生态学报 2010 30(11) :3018-3027.

[32]徐普保 张建明 祁永安 ,等.基于 3S 的石羊河流域生态功能区划研究[J].干旱区研究 2005 22(1) :41-44.

[33]胡降临 王心源.建立巢湖流域生态功能区划模型的初步研究[J].安徽农学通报 2008 14(11) :48-50.

[34]姚慧敏 郭洪海.山东省农业生态功能区划研究[J].安徽农业科学 2009 37(23) :11095-11097.

[35]刘勇.农业生态调节功能主导区划分中的问题分析[J].生态经济 2009 21(10) :109-112.

[36]HARPER D ,SMITH C ,BARHAM P ,et al. The ecological basis for the management of the natural river environment [C]//HARPER D M ,FERGUSON A J D. The ecological basis for river management. Chichester :Wiley Press ,1995 210 -238.

[37]FRISSELL C A ,LISS W J ,Warren C E ,et al. A hierarchical framework for stream habitat classification :viewing streams in a watershed context[J]. Environmental Management ,1986 ,10 :199-214.

[38]傅伯杰 周国逸 白永飞 ,等.中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全[J].地球科学进展 2009 24(6) :571-576.

[39]孟伟 张远 郑丙辉.辽河流域水生生态分区研究[J].环境科学学报 2007 27(6) :911-918.

[40]孙小银 周启星 于宏兵 ,等.中美生态分区及其分级体系比较研究[J].生态学报 2010 30(11) :3010-3017.

[41]傅伯杰 刘国华 陈利顶 ,等.中国生态区划方案[J].生态学报 2001 21(1) :1-6.

[42]熊怡 张家桢.中国水文区划[M].北京 :科学出版社 ,1995.

[43]中华人民共和国水利部.水功能区划技术大纲[R].北京 :中华人民共和国水利部 2000.

[44]阳平坚 郭怀成 周丰 ,等.水功能区划的问题识别及相应对策[J].中国环境科学 2007 27(3) :419-422.

[45]尹民 杨志峰 崔保山.中国河流生态水文分区初探[J].环境科学学报 2005 25(4) :423-428.

[46]国家环境保护总局.全国地表水环境功能区划[R].北京 :国家环境保护总局 2002.

[47]周丰 刘永 黄凯 ,等.流域水环境功能区划及其关键问题[J].水科学进展 2007 18(2) :216-222.

[48]阳平坚 吴为中 孟伟 ,等.基于生态管理的流域水环境功能区划 :以浑河流域为例[J].环境科学学报 2007 27 (6) :944-952.

(收稿日期 2011-04-01 编辑 高渭文)

