

河流生态系统功能的分类体系

王 晶^{1,2} 张 远² 关 伟¹ 马溪平¹

(1. 辽宁大学环境学院 辽宁 沈阳 110036; 2. 中国环境科学研究院河流与海岸带环境研究基地 北京 100012)

摘要 概述国内外现有的生态系统功能的类型和组成,辨析河流生态系统功能的基本内涵,阐述生态系统过程、生态系统功能和生态系统服务之间的关系。从水文水动力、生物生态、生物地球化学、社会服务四大过程出发,提出了河流生态系统功能分类体系,具体包括调节、支持、信息和承载功能,实现了河流生态过程与生态功能、服务和产品的有机衔接,为功能评价指标的构建奠定了科学的基础。

关键词 河流生态系统 生态系统功能 生态服务功能 生态过程

中图分类号 X171 **文献标识码** A **文章编号** 1006-764X(2010)S1-0020-04

河流生态系统是指河流内生物群落和周围环境相互作用的统一体,包括河岸生态系统、水体以及河滨沼泽湿地^[1-2]。作为一种重要的生态系统类型,河流生态系统还是生物圈物质循环的主要通道之一,很多营养盐及污染物在其中进行迁移和降解。过去几十年里,人们片面强调河流的水资源供给、污染物接纳、防洪排涝等功能,而忽视了河流生态系统的自身功能需求,往往造成河流生态系统人为干预严重,呈现生态流量减少、水质恶化、河岸湿地与自然植被破坏严重、河道人为渠化等问题,河流自然结构与功能完整性遭到破坏。因此,识别河流生态系统功能状况,可以反映河流生态健康状况及其所面临的潜在压力,也是制定针对性保护与修复措施的基础。笔者对河流功能概念、过程与功能的关系等进行了研究,力图提出适合于河流生态系统的功能分类体系。

1 河流生态系统功能相关研究进展

生态系统服务功能的概念最初于 20 世纪 70 年代提出,主要是指自然生态系统对人类的“环境服务功能”,包括害虫控制、昆虫传粉、渔业、土壤形成、水土保持、气候调节、洪水控制、物质循环与大气组成等^[3]。之后, Costanza 等^[4]对生态系统的服务功能进行了较为系统的研究,将其分为 17 项功能并进行评估,该研究掀起了生态系统服务功能评估的热潮,且为以后的评价奠定了基础。

由于生态系统的复杂性,理解过程、功能、产品和服务之间的相互支撑关系,是理解生态系统服务功能内涵的基础。Serafy^[5]认为生态系统的服务和功能的含义存在差异,需要从形式上进行区分,例如他认为水调节是水生态系统服务,水文条件是水生态系统功能。Groot 等^[6]则对生态系统功能、产品和服务之间的关系进行了探讨,在此基础上建立了一套评价生态功能、产品和服务的标准框架体系,其中将生态系统功能分为调节功能、栖息地功能、生产功能和信息功能;之后, Groof^[7]又针对自然生态系统和亚自然生态系统的景观服务功能和社会经济利益的评价框架进行了研究,其中增加了承载功能,并将服务类型扩展到 30 项。联合国千年生态系统评估(MA)项目^[8]将生态服务功能分为支持、供给、调节、文化功能四类,并指出支持功能是产生其他生态系统服务所必须的功能,该体系自提出后得到广泛应用,Wallace^[9]、Heif^[10]和 Egolf^[11]均采用了 MA 的分类方法。Wallace^[9]阐述了生态系统功能、生态系统过程和生态系统服务概念,指出现有生态系统服务功能分类体系存在的问题,提出了能为自然资源管理决策提供理论框架的生态系统服务分类体系,也提出了中间服务和最终服务的思想,他认为诸如授粉、土壤形成和水调节这样的功能是产生很多服务的过程,而不是服务,指出无论是中间功能还是最终功能最后都会造福人类,为人类服务,因此生态系统

基金项目 国家水体污染治理与控制重大专项(2008ZX07526-001)
作者简介 王晶(1984—),女,辽宁锦州人,硕士研究生,主要研究方向为河流生态系统功能。E-mail: wjing-9@163.com
通讯作者 张远,研究员。E-mail: zhangyuan@craes.org.cn
· 20 · 水利水电科技进展 2010, 30(S1) Tel: 025-83786335 E-mail: jz@hhu.edu.cn http://kbb.hhu.edu.cn

功能不是互斥的体系。

我国也有不少学者对河流生态系统的服务功能进行分类、评价。蔡庆华^[12]认为生态系统服务包括生态系统产品和生态系统服务,并且将淡水生态系统服务分为供水、水能、水生生物、环境效益。赵同谦等^[13]根据水生生态系统提供服务的消费与市场化特点,认为可以把水生生态系统的服务功能划分为具有直接使用价值的产品生产功能和具有间接使用价值的生命支持系统功能两大类,并且对这两类功能进行了细分。栾建国^[1]用四维框架模型对河流生态系统的结构特征和独特的服务功能进行描述,并将河流生态系统服务功能主要分为淡水供应、水能提供、物质生产、生物多样性的维持、生态支持、环境净化、灾害调节、休闲娱乐和文化孕育等。王欢等^[14]参考国内外水生生态系统分类方法,把河流生态系统的服务功能划分为提供产品功能、调节支持功能、文化功能三大类,也就是包括了生态系统的自然生态服务功能和社会服务功能,此分类体系将调节和支持功能合并为调节支持功能,同时以香溪河为例,对河流生态系统服务功能进行评价。彭静等^[15]将河流生态功能分为通道作用、过滤与屏蔽作用、源汇作用、栖息地功能等,介绍了基于层次决策分析的河流生态功能综合评价方法。肖建红等^[2]根据 Costanza 等提出的生态系统服务功能概念,将河流生态系统服务功能分为河流生态系统产品和河流生态系统服务,其中包括了 Costanza 等提出的 17 项功能中的 15 项,并对我国河流生态系统部分服务功能的价值进行了初步评价。国内对河流生态系统功能的分类没有明确标准和定义,部分研究存在着片面性。

国内外现有分类体系中主要分为两类:一类是基于 Costanza 对生态系统服务的分类及定义进行划分的,即从生态系统的产品和服务两方面进行细分;另一类是根据 MA 提出的支持、供给、调节和文化四大功能类别提出分类体系,其中部分调节和支持功能是实现供给和文化功能的过程,而不是最终的服务,例如水调节和侵蚀调节是实现饮用水、食物供给和木材资源的过程,其结果造成过程和服务相互混淆,难以为有效的管理提供决策。Hein^[10]提出将调节和供给服务结合,称为调节服务,他们认为很多调节服务不仅只属于一个服务类型,因此存在重复计算的问题。针对这些问题,学者们正在探讨新的、各种不同的分类方法^[16-17],例如 Costanza 认为生态系统的中间服务和最终服务都是生态系统服务,它们都最终为人类提供福祉,并提出根据服务的空间特征和服务的排斥性和竞争性这样的方法对生态系统进行分类^[16]。

表 2 生态系统服务功能分类体系

分类系统	生态系统服务功能分类	参考文献
第一类	气体调节、气候调节、干扰调节、水分调节、水分供应、侵蚀控制和沉积物保持、土壤形成、营养物循环、废弃物处理、传粉、生物控制、庇护、食物生产、原材料、基因资源、娱乐、文化 17 项功能。	文献 4] 文献 12] 文献 2]
	支持服务 :养分循环、土壤形成、初级生产 供给服务 :食物、淡水、木材和纤维、燃料 ; 调节服务 :调节气候、调节洪水、调控疾病、净化水质 ; 文化服务 :美学价值、精神价值、教育功能、消遣功能。	文献 6] 文献 8] 文献 10] 文献 11] 文献 14] 文献 9]
其他类型	根据生态系统服务空间特征分类 :与空间位置不相关的服务 ;与空间位置相关的服务 ;与流向相关的服务 ;初始位置服务 ;与运动相关的服务等。 根据生态系统服务的排斥性和竞争性分类 :排斥-竞争、非排斥-竞争、排斥-非竞争、非排斥、非竞争	文献 16]
	通道作用、过滤和屏蔽作用、源汇作用、栖息地功能	文献 15]
	物种流动、物质循环、能量流动和信息流动 生物群落对于各种非生命因子的适应性和自我调节 生物生产等	文献 17]
	正向功能 :环境、服务、文化娱乐 负向功能 :灾害性	文献 18]

2 概念阐述

界定生态系统过程(ecosystem processes)、生态系统功能(ecosystem function)、生态系统服务(ecosystem service)等概念差异。

生态系统过程是生态系统中生物和非生物组分之间复杂的内部作用,包括一系列事件、反应和运行。广义上这些过程包括能量和物质的转化,主要是能量、营养物质、氧气和水的循环与流动,这些过程发生在生物体内和体外,涉及地球化学过程、宇宙过程、社会文化过程等^[9]。

生态系统功能是自然过程和组成所提供的产品和服务直接或间接满足人类需求的能力。在生态学的一些文献中,生态系统功能这个术语有很多不同的解释:有时这些解释是矛盾的,有时这一概念用来描述生态系统内部功能(如:维持能量流动、营养物循环、食物网之间的作用等),有时涉及人类从生态系统资源和过程中获取的利益(如:食物生产、废物处理等)^[6]。Costanza^[4]认为生态系统功能包括生态系统提供的多种栖息地、生物和生态系统特征或过程。

Costanza^[4]指出生态系统服务是人类直接或间接从生态系统功能获得的利益,将生态系统的产品(如食物)和服务(如废弃物处理)统称为生态系统服务。MA^[8]指出生态系统服务是人们从生态系统获

取的利益。生态系统服务的来源既包括自然生态系统,也包括人类改造的生态系统,包含了生态系统为人类提供的直接的和间接的、有形的和无形的效益。Costanza^[16]认为 MA 的定义是很合适、应用很广泛,且有价值的定义,这个定义既包括了人们认知的利益,还包括了人们没有认知的利益。

图 1 表述了生态系统过程、生态系统功能及生态系统服务三者之间的关系。生态系统过程转化为生态系统功能,这些功能又提供了对人类有价值的生态系统服务^[6]。生态系统过程和生态系统功能并不是一一对应的,一个过程支持一个或更多的功能;生态系统服务和生态系统功能也不是一种一一对应的关系,一些情况下某种服务是 2 项或多项生态系统功能产生的,在另外一些情况下生态系统功能又能够支持 2 个或更多的服务类型^[4]。清楚地定义 3 个概念,以及了解 3 者之间的关系对生态系统功能分类的研究有重要的意义,尽管每个定义和分类体系不可能适用于所有目的,但总能指出某一相关环境问题、景观管理或者价值评价^[9,19-20]。

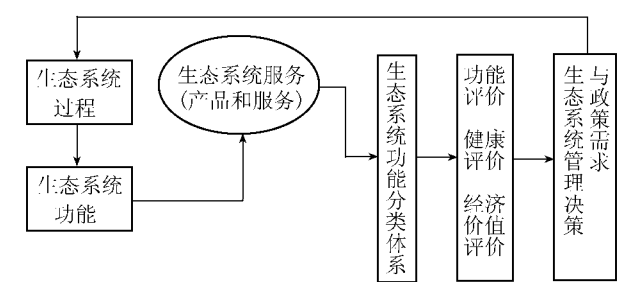


图 1 生态系统过程、功能和服务之间的关系及生态系统研究框架

对于河流生态系统,其生态系统功能是指河流生态系统与河流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,直接或间接地为人类提供各种服务的能力,包括对人类生存和生活质量有贡献的河流生态系统产品和河流生态系统服务。河流生态系统结构和过程决定它应该具有哪些生态系统功能,这些功能又提供相应的产品与服务。

3 河流生态系统功能主要影响过程

本文试图建立的河流生态系统功能分类体系旨在强调河流生态系统过程及功能的生态效应。水系统被定义为与水的各种人类的、物理的、生物的、生物地球化学的组成部分及其之间的相互作用而组成的系统。全球水系统作为生物地球化学和生物地球物理过程的调节器,在地球系统中起着核心和综合控制作用,并且是维系人类社会的基础^[21-22]。河流生态系统包括水文水动力、生物生态、生物地球化学、社会服务四大过程,可以从上述过程出发对河流

生态系统功能进行分类。

3.1 水文水动力过程

水文水动力过程是河流最为重要的生态过程,也是其他过程的主要载体。由于流经地区在气象、水文、地貌和地质条件上存在差异,水文水动力学过程表现出时空差异性,既构造了流域内的不同类型水体,也决定了流态、流速、流量、水质以及水文周期等的多样性,并最终影响着河流生态系统的功能的发挥^[1]。近年来,由于人类从河流中过度取水,造成河道水文情势显著变化,生态流量难以满足河道功能的要求。生态流量的确定应基于河流功能的需求。

3.2 生物生态过程

河流是水生生物的栖息地场所。水体中许多呈溶解状态的无机物和有机物可被生物直接利用,这为水体中浮游生物提供了有利条件^[1]。河流生态系统在结构上存在纵向、横向、垂向及时间分量特征,这种时空差异性使得河流生态系统为生物提供多种生境,从而产生不同的生物群落。河流生态系统多种多样的生境不仅为各种生物物种提供繁衍生息的场所,还为生物进化及生物多样性的产生与形成提供了条件,同时还为天然优良物种的种质保护及其经济状况的改良提供了基因库。此外,河流生态系统通过初级生产和次级生产,生产了丰富的水生植物和水生动物产品,为人类生存需要提供了物质保障。

3.3 生物地球化学过程

河流生态系统能够提供氮、磷等营养物质,并且是营养物和化学元素循环的媒介,生物通过养分存储、内循环、转化和获得等一系列循环过程,促使生物与非生物环境之间的元素交换,维持生态过程。水生生物从周围环境中吸收的化学物质除了自身需要的营养物之外,还包括不需要或者有害的化学物质,污染物通过一系列生物化学过程,其形态、化学组成和性质发生一系列变化,最终达到净化作用。河流通过水面蒸发和植物蒸腾作用可以增加区域空气湿度,有利于空气中污染物质的去除,调节大气中 CO₂ 和 O₂ 的平衡^[23]。

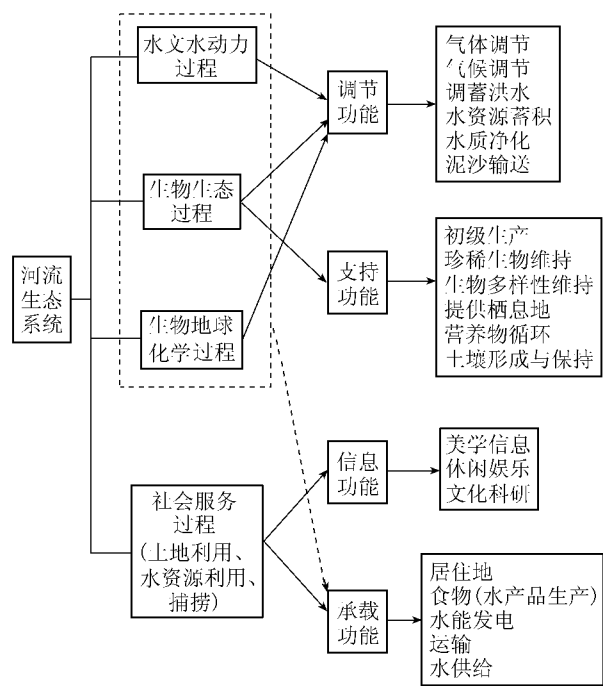
3.4 社会服务过程

河流生态系统的直接功能及其价值普遍受到人们的重视,这些社会服务功能直接关系到人们的生活、生产和各种活动,包括土地利用、水资源利用等。社会服务过程支持着河流信息及承载功能,为人类提供休闲文化、居住地、水产品、水能发电、运输、水供给等服务,其中航运功能是针对具有一定规模的河流而言的^[12]。

4 河流生态系统功能分类体系构建

在水文水动力、生物生态、生物地球化学、社会

服务四大过程的支撑下,河流生态系统发挥着调节、支持、信息和承载4类功能(图2)。其中,调节和支持功能是间接功能,实质上是生态系统自身功能,信息功能和承载功能属于直接功能,可直接量化为经济价值,属于生态系统服务类型。河流生态系统具有的整体性特征决定了这些功能之间并不是彼此孤立的,而是由多方面单项功能相互联系、相互影响、相互制约的复杂整体功能^[18]。



注:虚线框和虚线箭头表示间接影响。

图2 河流生态系统功能分类体系

4.1 调节功能

河流生态系统的调节功能主要是生态系统的水文过程、生物化学循环、地球表面过程和各种生物过程共同作用产生的^[6],是河流为了维持自身系统健康,对其自身基本生态过程及其周围环境条件的基本能力。调节功能提供了各种服务,如:气体调节、气候调节、调蓄洪水和生物控制等,如河流利用自身的生物生态过程,通过初级生产和次级生产产生营养物和物质资源,进行生物控制。河流的生物地球化学过程决定着河流中氮磷等营养物质的结构,及CO₂和O₂的含量,从而实现河流的气体调节、气候调节和水质净化等服务功能。由于河流的调节功能需要通过很长时间才能起作用,而且提供的是间接价值,但是这一功能是河流生态系统最基本的功能,人们不能在它遭到破坏或功能削减之后才意识到它的重要性。

4.2 支持功能

支持功能是河流生态系统的基础功能,从河流生物生态过程出发,分析河流的支持功能,包括初级

生产、生物多样性维持、提供栖息地、土壤形成与保持等。河流生物的初级生产力是指水体生产生物产品的一种能力,是自养生物在单位时间、单位空间内合成有机物质的量,初级生产者包括浮游植物、着生藻类、水生维管束植物和自养细菌,其中浮游植物是主要的生产者,河流生态系统为水生动植物提供庇护和繁殖的场所,并且维持生物和基因多样性、为物种进化过程做贡献^[6]。

4.3 信息功能

信息功能指人类通过精神感受、知识获取、主观印象、消遣娱乐和美学体验从生态系统中获得的非物质利益的能力^[24],它与社会服务过程有关,河流的信息功能包括供人类观赏的景观、水上娱乐活动、河流的发源与发展、河流科学研究等。这些服务受人类活动过程的影响,反过来又反映长期以来人类生命过程和自然生态系统过程的演变和进化情况。

4.4 承载功能

大部分人类活动(如:耕种、居住和运输)是需要空间和适宜的基质和介质的^[7],河流的承载功能受人类活动及社会经济状况的影响,其持续能力是有限的,包括为人类提供居住地、能量、工业、农业、生活用水,支持耕种、采矿及运输等人类活动,此外河流还承担着处理人类产生的各种废弃物的重任。

4类功能之间存在着密切联系,其中调节功能和支持功能是维持生态系统基本生态过程的功能,是保证信息功能和承载功能得以实现的先决条件。因此,总结河流生态系统功能不仅需要考虑它与生态系统过程和生态系统服务之间的关系,还要考虑各个生态系统功能之间的潜在逻辑关系,这对进行河流生态系统功能与健康评价的研究有很好的支持作用。

5 结 语

a. 生态系统服务的研究应该是从过程到功能,再由功能到最终服务的过程,因此,构建河流生态功能评估体系需要从河流生态过程研究出发。

b. 河流生态系统功能提供河流生态系统服务,河流生态系统服务是河流生态系统功能的表现形式之一,但二者并不是一一对应的,有时一种生态系统服务是两种或两种以上生态系统功能所共同产生的。

参考文献:

[1] 栾建国,陈文祥.河流生态系统的典型特征和服务功能[J].人民长江,2004,35(9):41-43.

(下转第53页)

以及重点监测断面的水文、水资源状况,可为淮河流域水资源论证报告书审查工作、取水许可审批管理提供重要依据,对淮河流域水资源综合利用、优化配置和管理决策有重要意义。

参考文献:

[1] 陈述彭,鲁学军,同成虎.地理信息系统导论[M].北京:科学出版社,2000.

[2] 丛方杰,王国利,肖传成,等.基于GIS组件技术的地下水资源管理信息系统的研究与开发[J].水文,2006,26(4):60-63.

[3] 诸云强,宫辉力,赵文吉,等.基于组件技术的地理信息系统二次开发:以地下水资源空间分析系统为例[J].地

理与地理信息科学,2003,19(1):16-19.

[4] 崔阳,王华,乔淑娟.基于GIS的空间数据库构建与应用研究[J].微计算机信息,2006,22(3):199-201.

[5] 吴小芳,胡月明,徐智勇,等.基于GIS的水文信息系统的设计与实现[J].水文,2007,27(4):71-74.

[6] 占才亮,张为,岳遥,等.基于GIS的洞庭湖区水沙信息数据库系统的设计与实现[J].科学技术与工程,2009,9(11):2983-2987.

[7] 刘书生,赵立鸿,杨磊.基于GIS技术电信基站管理系统的设计与实现[J].江苏地质,2004,28(4):224-227.

[8] 侯召成,翟宜峰,周惠成,等.基于Web GIS的防汛信息服务系统设计与实现[J].水利水电技术,2003,34(5):33-35.

(收稿日期 2010-03-23 编辑 骆超)

(上接第23页)

[2] 肖建红,施国庆,毛春梅,等.河流生态系统服务功能经济价值评价[J].水利经济,2008,26(1):9-25.

[3] 田运林.生态系统服务功能研究综述[J].中国环境管理干部学院学报,2008,18(2):46-64.

[4] COSTANZA R, ARGE R, GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 353: 253-260.

[5] SERAFY S E. Special section: forum on valuation of ecosystem services pricing the invaluable: the value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998, 25: 25-27.

[6] GROOT R, 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: 393-408.

[7] GROOT R. Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes[J]. Landscape and Urban Planning, 2006, 75: 175-186.

[8] MA(Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and human well-being: synthesis[M]. Washington DC: Island Press, 2005.

[9] WALLACE K J. Classification of ecosystem services: problems and solutions[J]. Biological Conservation, 2007, 139: 235-246.

[10] HEIN L, KOPPEN K, GROOT R S, et al. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services[J]. Ecological Economics, 2007, 57: 209-228.

[11] EGOH B, ROUGET M, REYERS B, et al. Integrating ecosystem service into conservation assessments: a review[J]. Ecological Economics, 2007, 63: 714-721.

[12] 蔡庆华,唐涛,邓红兵.淡水生态系统服务及其评价指

标体系的探讨[J].应用生态学报,2003,14(1):135-138.

[13] 赵同谦,欧阳志云,王效科,等.中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J].自然资源学报,2003,18(4):443-452.

[14] 王欢,韩霜,邓红兵,等.香溪河流域生态系统服务功能评价[J].生态学报,2006,26(9):2971-2978.

[15] 彭静,董哲仁,李翀.河流生态功能综合评价的层次决策分析方法[J].水资源保护,2008,24(1):45-48.

[16] COSTANZA R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed[J]. Biological Conservation, 2008, 141: 350-352.

[17] 董哲仁.河流生态系统研究的理论框架[J].水利学报,2009,40(2):129-137.

[18] 李恩宽.黄河河流系统功能分类研究[J].人民黄河,2009,31(6):20-22.

[19] FISHER B, TURNER R K, MORLING P. Defining and classifying ecosystem services for decision making[J]. Ecological Economics, 2009, 68: 643-653.

[20] FISHER B, TURNER R K. Ecosystem services: classification for valuation[J]. Biological Conservation, 2008, 141: 1167-1169.

[21] The global water system project(GWSP). Science framework and implementation activities: earth system science partnership[R]. GWSP: ESSP Report, 2005, 3: 10211.

[22] 康尔泗,陈仁升,张智慧,等.内陆河流域水文过程研究的一些科学问题[J].地球科学发展,2007,22(9):940-953.

[23] 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.

[24] 陈尚,张朝晖,马艳,等.我国海洋生态系统服务功能及其价值评估研究计划[J].地球科学进展,2006,21(11):1127-1133.

(收稿日期 2009-12-22 编辑 高渭文)