

引用格式:刘洋,毕军,吕建树.生态系统服务分类综述与流域尺度重分类研究[J].资源科学,2019,41(7):1189-1200. [Liu Y, Bi J, Lv J S. Classification of ecosystem services and a reclassification framework of watershed ecosystem services[J]. Resources Science, 2019, 41(7): 1189-1200.] DOI: 10.18402/resci.2019.07.01

生态系统服务分类综述与流域尺度重分类研究

刘洋^{1,2}, 毕军³, 吕建树⁴

(1. 济南大学商学院, 济南 250002; 2. 山东龙山绿色经济研究中心, 济南 250002;
3. 南京大学环境学院, 南京 210046; 4. 山东师范大学地理与环境学院, 济南 250014)

摘要:将生态系统服务理论应用于管理实践是当今研究的重要趋势,而构建符合人类管理需求的分类体系则是其基础。通过综述国内外生态系统服务的分类体系发现:目前研究多从生态系统的产出特征及与人类收益的对应关系进行分类,欠缺针对某一特定管理目标、有助于人类管理决策的分类体系。据此,在已有研究的基础上,考虑流域普遍面临的水环境问题及管理需求,构建一套适用于流域水环境管理的分类体系,并探讨与已有分类的异同。该分类体系将水环境健康作为总体管理目标,根据与该目标的关系确定直接服务、间接服务及生态收益3大类:直接服务是管理目标的具体表征,主要以物理量度量;间接服务有助于支撑管理目标的实现,应综合多学科方法量化;生态收益则体现管理目标的最终效果,可通过价值化方法表征。该分类体系有助于流域关键生态系统服务的识别及特征分析,为后续开展相应模拟、制图及评价等研究奠定基础。

关键词:生态系统服务;分类体系;水环境管理;水环境健康;流域;收益

DOI: 10.18402/resci.2019.07.01

1 引言

生态系统服务是人类从生态系统中获得的各种惠益^[1],体现了自然系统对人类社会的作用功能,也反映了人类的价值取向^[2]。目前,有关生态系统服务研究趋向于与管理决策过程相联系^[3,4],以提高生态系统对人类的效用,促进人类福祉的增加。然而,生态系统服务研究从理论走向实践仍面临一系列挑战^[5,6],其中首先需要解决的问题就是生态系统服务的界定及分类^[2],尤其是在多样化的区域尺度上。由于生态系统的复杂性和动态性,加之不同社会团体认知的差异性,难以对生态系统服务建立统一的分类体系。

20世纪末,Daily^[7]和Costanza等^[8]在分析各类生态系统功能的基础上,进行了全球生态系统服务分类,从而推动了该领域的研究热潮。21世纪初,联合国的千年生态系统评估(Millennium Ecosystem

Assessment, MA)根据生态系统服务与人类福祉关系提出了服务分类框架^[9]。尽管该分类体系得到了学界及政界广泛认可,但在价值评估及实践应用方面存在诸多局限。为此,学术与管理界开始重新探讨生态系统服务分类体系,以适应管理政策的制定。欧洲环境机构从生态系统服务价值化角度、美国环保署根据生态系统服务的直接可用性分别提出了相应的分类体系^[10-12]。然而,目前生态系统服务分类研究仍备受争议^[10]。一方面,已有分类体系多是基于生态系统的产出特征及对人类收益的影响,而结合人类管理需求的分类相对缺乏,从而限制了生态系统服务在生态补偿和环境规划等政策制定方面的应用;另一方面,尽管有些研究尝试将分类框架整合到政策或决策制定机制中,但普遍面临分类庞杂、类别界定模糊等问题,导致生态系统服务价值的重复计算。尤其是在局地尺度上,缺少

收稿日期:2018-03-19,修订日期:2018-05-28

基金项目:国家自然科学基金项目(41701604);山东省自然科学基金项目(ZR2017BD003);济南大学博士基金项目(16010023)。

作者简介:刘洋,女,山东济南人,副教授,主要研究方向为生态系统服务与生态补偿。E-mail: liuyang0531py@126.com

针对某一特征空间的、清晰易懂、且可操作强的分类体系,从而影响生态系统服务在该尺度的应用。

流域作为自然过程和人类活动交互作用强烈的地区,具有复杂的生态系统结构和多样的服务类型,且与人类生产生活的关系最为密切。在中国,尽管流域所处的地理环境各不相同,但普遍面临水质退化,水资源短缺等水环境问题。因此,本文在梳理国内外生态系统服务分类研究的基础上,根据中国流域的现实问题,构建一套适用于流域水环境管理的生态系统服务分类体系,识别流域关键的服务类型,以期为后续的综合评估研究奠定基础,从而推动生态系统服务在流域水环境管理中的应用,优化流域水环境管理模式。

2 生态系统服务分类研究现状

现有的生态系统服务分类体系分别从生态系统的功能、过程、特征、对人类福祉贡献、环境效益核算以及人类需求等方面进行分类^[13,14]。不同的分类体系反映人类对生态系统服务认知的差异性,从自然生态范畴跨越到社会管理实践。按照分类理论及规则将相关研究进行归类综述,具体如下。

2.1 根据生态系统提供给人类的多重收益进行分类

生态系统提供给人类食物、原材料、资源、生境等多重收益,而这些收益又与人类福祉相对应,因此多数研究从这个角度进行分类。Daily^[7]将生态系统提供的服务分为:物品生产(食物、动植物产品、药材等)与再生过程(空气和水体的净化、控制病虫害、维持海岸带等),生活满足功能(审美、文化教育、精神享受等),以及选择性维持(如维持一些生态组分和体系以提供相关产品及服务)4大类,并以此作为生态系统服务。Costanza等^[8,15]根据生态系统提供给人类的直接或间接收益,将全球生态系统服务分为17类。Wallace等^[16]则将生态系统中有利于人类价值的直接功能作为服务,而不考虑产生这些服务的间接手段。中国学者欧阳志云等^[17]基于直接和间接价值进行了陆地生态系统服务分类。张彪等^[18]根据生态功能属性,从人类需求出发,建立了包括物质产品供给、生态安全维护及景观文化承载在内的服务分类体系。

目前,该方面研究以千年生态系统评估的分类体系最具影响力^[19,20],它将生态系统服务划分为供

给、调节、文化及支撑4大类^[9]。其中,供给服务为生态系统提供给人类直接利用的物质材料,包括食物、木材、水等物质资源,满足人类生计及社会经济发展的需求;调节服务为生态系统对环境介质和过程的调节,包括对气候、水质、疾病等的调节,给人类提供安全保障,避免一些灾害、疾病及寄生虫的危害;文化服务为人类从生态系统中获得的休闲娱乐、宗教信仰等服务,与人类的文化、教育及精神需求相关;支撑服务则是维持生态系统稳定的必要过程及功能,包括养分循环、土壤形成等服务,支持其他3类服务的产生^[9]。该分类体系详细阐述了自然生态系统对人类社会福祉的作用及生态系统服务之间的关系,因而被普遍认可。然而,随着研究的深入,一些学者发现该分类体系混淆了“生态系统功能”、“服务”和“收益”等概念,并且缺乏实践指导意义,尤其是在经济价值评估过程中,由于没有明确区分中间过程、最终服务及收益,导致重复计算问题^[21-23],进而影响生态系统服务在环境保护和自然资源管理中的应用^[24]。

2.2 根据生态系统提供给人类的最终服务进行分类

科学家基于监测度量的角度进行生态系统服务分类,这样的分类从管理者的角度来说则未充分考虑政策目标的制定,不利于管理实际应用。科学测量与管理需求之间的反差是目前生态系统服务研究的缺陷所在。为此,最终生态系统服务(Final Ecosystem Service)的概念出现。Boyd等^[21]认为最终生态系统服务是直接被人类利用、消费及享受的终端自然组分,由生态系统不同过程和功能相互作用产生,是可感知、可测量,且现实存在的。如果人类需求的是饮用水,那么水质可以被看作直接服务,湿地和自然缓冲区用地是有助于产生这种服务的重要部分;如果人类需求的休闲娱乐,那么水体本身、鱼类等生物的用水量及河滨林地则是最终生态系统服务,而水质作为维持这些服务的功能则成为中间服务。可见,该分类体系中人类需求和利益决定生态系统服务是最终服务还是中间服务,但一些服务类型难以清晰界定,且未充分考虑生态系统产出对人类福祉的影响,有失偏颇。Fisher等^[25]进一步将生态系统服务分为中间服务、最终服务以及收益。其中,收益是人类从生态系统中获得的利

益,最终服务是生态系统产出对人类收益的直接贡献,而中间服务则是决定生态系统产出的特征及过程,反映生态系统的功能和结构。李琰等^[2]在论述生态系统服务与人类福祉关系的基础上,从最终服务的角度构建了连接不同层次人类福祉的分类框架,为后续生态系统服务相关研究奠定基础。

可见,基于最终生态系统服务的分类体系先从生态系统产出、利益相关者、人类福祉等方面区分中间服务和最终服务,并充分考虑人类需求的重要性。为促进该分类的实际应用,一些学者进行了深入研究。Johnston等^[26]从生态系统服务价值化的角度提出了间接和最终服务划分的概念模型,明确了最终服务的4条可操作性原则(愿意付费购买、源于自然产出、与人类相关的直接利益及为所有受益者提供服务),并提供了理论应用于实际的案例。Nahlik等^[27]构建了一套跨学科方法对已有研究的生态系统服务框架(包括原则、定义及分类体系)进行评估,结果发现目前针对基本概念和分类的研究较为薄弱,多集中于某一学科,且欠缺可操作性。

美国环境保护局在相关学者研究的基础上,综合环境、社会等多学科领域的科学家开发了一套具有可操作性的分类体系,即最终生态系统产品和服务(Final Ecosystem Goods and Services, FECS)。该分类体系采纳了Boyd等^[21]的定义,认为生态系统服务是生态系统中可以供人类直接利用和消费的产出,同时包含自然科学中的环境组分和社会科学中的人文因素,其理论原则与Nahlik等^[27]的研究相似。通过选择被个体、团体或公司所享受、利用及消费的最终服务,在明确受益者的基础上,联合自然科学家的测量和社会科学家的定义,利用跨学科

的方法形成FECS分类体系的初步框架^[28](表1)。

该分类体系从环境和受益者2个层面建立了各自的类与亚类2个等级。其中,环境层面包括水生、陆地和大气环境3类,受益者层面则包括农业、工商业等10类。在环境层面,水为其中的一类服务;而在受益者层面,水则作为维持作物生长和生产生活的重要因素,提供给农业灌溉者和工业加工者。尽管供水来源可能相同,但使用者对其应用方式却存在明显差异。灌溉者更加关注用水量,以便满足作物生长期的用水;而工业加工者,尤其是在制冷和非食品加工方面,可能只关注水量和水温。因此,除水本身以外,水的生物物理特征也对分类起到重要作用,如水的数量、质量及可用时间对灌溉者的影响,这些指标可由自然学者测量。但对于不能实测的属性,则需社会学者进行度量,利用心理学、经济学等方法明确清洁水体对旅游观赏者的价值。因此,耦合自然和社会学的多学科知识对生态系统服务研究具有重要作用^[14]。

FECS分类体系对于多空间尺度的政策开发及决策制定具有重要意义,可避免定义的内在模糊性,减少服务价值的双重核算问题;通过明确特定的受益者,易于大众理解;此外,该研究过程也有助于社会和自然科学的交流与合作^[27,29]。总之,该分类体系有助于中间和最终服务的界定,为后续的生态系统服务模拟量化、价值评价、权衡分析及对人类福祉影响的相关研究提供支撑^[30]。在FECS分类体系的基础上,美国环保署于2015年发布了国家生态系统服务分类体系(National Ecosystem Services Classification System, NESCS),对最终生态系统服务流进行了分类,明确了各类服务的供需方,便于分

表1 FECS分类体系

Table 1 Classification system of Final Ecosystem Goods and Services (FECS)

环境层面			受益者层面									
水生环境	陆地环境	大气环境	农业	工商业	政府市政	交通	生存	娱乐	灵感	学习	感知	人文
河流溪水、湿地、湖泊、坑塘、海湾、海洋、地表水	森林、农业生态系统、人工绿地系统、草地、沼泽、岩石、裸砾地、苔原、冰川雪地	空气、天、气、风、其他大气环境	农民、灌溉者、养殖户、渔业户等	木工、资源、能源生产等相关人员	饮用水厂或污水处理厂的操作员、环卫等	食物运输者、客运员	对水、食物、木材、燃料、建筑物等有生存需求的人	采摘者、狩猎者、垂钓者、游泳者、划船人等	表彰仪式、参与者、庆典参与者、艺术家等	教育者、学生、研究者等	关注选举、遗产等实际问题的人群	所有人类

注 资料来自参考文献^[28],作者根据原文相关内容进行了整理。

析生态系统服务相关政策制定对人类收益的影响^[31]。

2.3 根据生态系统服务的环境经济核算进行分类

环境经济核算中准确计量生态系统服务是管理实践的重要内容,而探索便于计量的服务分类体系则是该应用的前提。De Groot等^[32]将生态系统服务分为生产、调节、信息及栖息地4大类23小类。其中,栖息地服务体现生态系统维持野生动植物生存与基因多样性的功能。TEEB(The Economics of Ecosystems and Biodiversity)^[33,34]第2阶段工作采纳了该分类体系中的栖息地服务,且保留了MA分类中供给、调节及文化服务,排除了“支撑服务”。然而,由于“栖息地服务”也具有一定的支撑功能,仍难以进行精确计量。为支持SEEA(The System for Integrated Environmental and Economic Accounting)研发,欧洲环境署发布了国际通用的生态系统服务分类体系(Common International Classification of Ecosystem Services, CICES)^[35,36]。该分类体系针对生物和非生物分别建立了供给服务、调节与维持服务、文化服务三大类,以表征生态系统中物质和能量使用、人类生存环境调节以及非物质的精神享受与象征意义(图1),目前该体系已发展到5.1版本。

CICES共分为5个等级,其中,“Section”有3个类别,“Division”划分为主要的产出和过程,“Group”根据生物、物理、文化种类及过程将上一级进行细化,“Class”为与服务来源相关的生物或物质产出、文化过程等,而“Class type”为终端服务指标或度量服务产出的建议方式^[37]。总体来看,生态系统服务表达随着等级的降低趋向于具体,并且低级服务可根据研究目的和地区实际情况有所变动,从而有利于核算和模拟不同主题及空间尺度下的生态系统服务,便于不同地区的应用。该分类体系不包括支撑服务,主要考虑直接影响人类福祉的生态系统产出,因而可反映被人类利用的、在生存过程中产生的直接或最终利益,有助于识别和描述最终服务,便于环境经济核算。此外,为与SEEA相统一,CICES除了强调社会边界和物质产品的重要性,还明确了生物多样性和生态系统非生物产出的作用,但在处理生物和非生物产出方面存在不足。例如,水会受到生物和非生物因素的多重影响,尽管具有相应的非生物特征,也应分情况阐述:当从

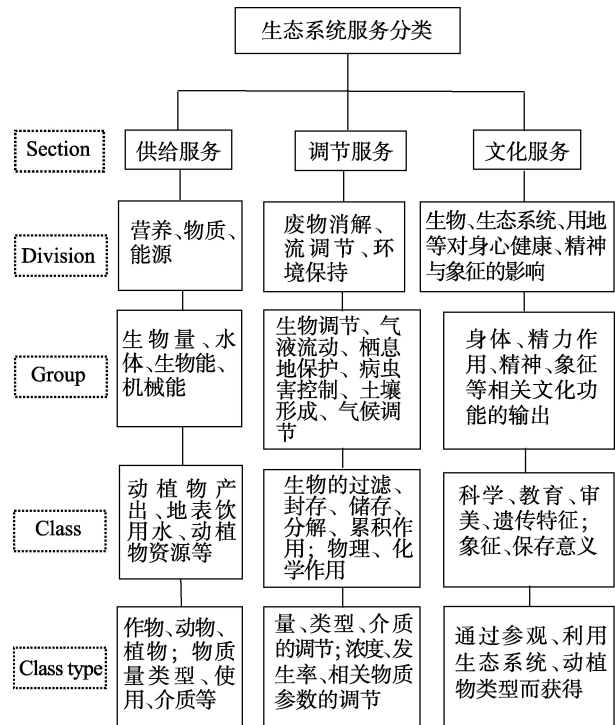


图1 CICES分类框架

Figure 1 Classification framework of Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)

注:资料来自参考文献[35,36],根据相关内容进行了整理。

生存过程的角度考虑时,水量与水质调节功能是人类生存的基础,可以被看作供给和调节服务;当从非生物产出角度考虑时,水是相关物质(如营养盐)存在的基础,而此时不能简单地将水归为供给或调节服务。

在CICES体系的基础上,一些欧洲国家尝试探索本国的生态系统服务分类^[38]。Mononen等^[39]结合CICES和TEEB分类体系,研发了一套适合芬兰国情的生态系统服务分类指标,包括10种供给服务,12种调节和维持服务以及6种文化服务,并设计了4大类112个用于模拟分析的指标。Albert等^[40]基于CICES体系论述了德国建立国家生态系统服务指标的必要性 and 可行性,认为服务分类不仅应为生态系统功能的认知提供信息,还应为不同层级的环境管理与决策者提供支撑。

2.4 根据生态系统服务的属性特征进行分类

基于人类需求及对社会福祉影响进行生态系统服务分类是当今研究的主流,然而生态系统是复杂的、动态的、非线性反馈的适应性系统,并具有一定的阈值和滞后效应,单一的分类标准和严格的定

2019年7月

义不符合多样化世界的真实情况^[41],因此应建立多种分类体系以满足不同目标。基于生态系统服务的多重属性特征, Costanza^[41]提出了2种分类方案,具体如下:

根据生态系统服务的空间流动性,可将服务分为5类(表2)。其中,全球非邻近性是指生态系统服务并非固定到具体位置,例如大气中的碳或其他温室气体可以存在并移动到任何位置;当地邻近性是指生态系统服务取决于生态系统与人类受益者的空间距离,例如树木的风暴防护服务需要林地生态系统与人类居住地邻近;定向流动性是指生态系统服务从产生地到利用地的流动,例如水量供给和水调节服务从上游到下游;而原位不动性是指生态系统服务的产生和利用均在同一个位置不变,如土壤形成是源于本地母质的成土作用;用户位置变动性是指服务产生取决于使用者到达特定地点,例如旅游者到不同的景点则获得相应的审美或文化服务。

排他性和竞争性的分类体系按照是否能被多人同时拥有及是否需要通过竞争形式获得^[25,41]将生态系统服务进行分类。该分类体系中生态系统服务被分为4大类(表3),分别是:排他性及竞争性服务,包括多数的供给产品(例如粮食、燃料等),这些商品多是私人拥有的,具有排他性,在市场流通中产生竞争性,拥有者或供给方可通过价格予以调控;非排他性及竞争性服务,是指一些供给服务可被多人拥有,但需要通过竞争手段获取,例如海洋鱼类、流经不同区域的水体等少数供给服务;排他性及非竞争性服务,是指一些人获得生态系统服务,有可能妨碍其他人拥有该项服务,例如狩猎、钓鱼等少数娱乐服务,由于不同人带来的潜在影响不

表3 基于竞争性和排他性的生态系统服务分类

Table 3 Classification of ecosystem services based on their excludability and rivalness

	排他性	非排他性
竞争性	竞争性市场的产品和服务 (多数供给服务)	开放性资源 (少数供给服务)
非竞争性	非竞争性团体的产品 (少数娱乐服务)	公共产品或服务 (多数调节和文化服务)

注:资料来自参考文献[41],根据相关内容进行了整理。

同,因此很难量化这项服务的社会价值。非排他性及非竞争性服务,是指不需要竞争方式便可以被多人同时获得,例如多数的调节及文化服务。

此外,学者们还针对不同的生态系统进行了服务分类研究。王玲慧等^[42]结合河流生态系统的功能特征,考虑服务价值与服务功能的对应关系,将河流生态系统服务划分为物质生产、淡水供给、生态支持、生态调节和娱乐文化等5大类17种。Turner等^[43]、张苹等^[44]对湿地生态系统服务的研究,Zhang等^[45]、吴绍华等^[46]对土壤生态系统服务的研究,赵同谦等^[47]对草地生态系统服务的研究,王其翔等^[48]对海洋生态系统服务的研究,尹飞等^[49]对农田生态系统服务的研究,毛齐正等^[50]对城市生态系统服务的研究,韩会庆等^[51]对喀斯特生态系统服务的研究等,均表明生态系统服务分类的多样性。

2.5 生态系统服务分类研究总结

生态系统提供给人类赖以生存的物质基础和环境条件,是地球生命的重要支持系统。生态系统的组分和结构相互作用产生过程及功能^[21],在融入人类价值取向后形成服务^[2]。可见,生态系统服务依赖于自然环境的产出,并反映人类价值取向,对人类收益及社会福祉具有重要作用。生态系统服务分类是明确生态系统产出类型、特征、数量及过程的前提,有助于人类理解生态系统。然而,由于研究者对服务涵义和人类价值取向认知的差异,导致生态系统服务分类体系的多样性。MA、CICES、FEGS等多种分类体系均表明目前针对生态系统服务的概念及分类研究仍存在争议,缺乏统一的分类标准。

目前已有的生态系统服务分类研究涵盖自然范畴和人类社会范畴,并涉及多种生态系统单元,如湿地、草地、河流、海洋等单个生态系统,以及农业、城市等复合生态系统。多数研究从人类收益的

表2 基于空间特征的生态系统服务分类

Table 2 Classification of ecosystem services based on their spatial characteristics

分类依据	分类结果
全球非邻近性	气候调节、碳封存、碳储存、存在价值
当地邻近性	干扰调节或风暴防护、废物处置、生物控制、栖息地或避难所
定向流动性	水流调节或洪峰消减、水量供给、沉积物调节或侵蚀控制、营养盐调节
原位不动性	土壤形成、食物生产或非木材林生产、原材料
用户位置变动性	基因资源、娱乐潜力、文化或审美

注 资料来自参考文献[41] 根据相关内容进行了整理。

角度探讨服务分类,包括人类从生态系统中获得的全部收益、直接或间接收益、最终产品和服务等。同时,为准确地度量生态系统服务对人类福祉的贡献程度,一些研究还提出了可计量的服务分类体系。此外,也有研究认为生态系统是复杂多样的,应根据生态系统服务的多重属性特征建立分类体系。然而,多数研究过于繁杂,往往存在类别界定不明确、分类方式和节点相混淆的问题^[52],并较少考虑人类管理决策的需求性,缺乏清晰易懂及可操作性强的分类体系,从而限制了生态系统服务在生态补偿和环境规划等政策制定方面的应用。

流域是以自然水系分界的相对独立、完整的特征空间,河流作为其中的连续体,承接上下游之间的物质流动、能量交换,各要素之间相互影响。同时,流域又被不同的行政区分割,由于地理位置、自然条件、经济技术和历史背景等方面的不同,流域内的人类活动具有明显的空间异质性,进而增加了流域生态系统的复杂性。以往研究多将流域生态系统服务分为食物、淡水、木材等原材料及生物化学品的供给服务类,水体净化、水土保持、洪峰消减等调节服务类,审美、科教、休闲等文化服务类,以及水循环、养分循环、土壤形成等支撑服务类^[53,54]。尽管每种生态系统服务都在相应的时空维度上发挥着不可替代的作用,但对于管理者来说,并非每种服务都可作为管理决策的依据^[55]。因此,本文在上述众多分类研究的基础上,针对流域这一特征空间,分析其面临的主要水环境问题及相应管理需求,确定水环境管理总体目标,根据与管理目标实现的关系进行分类,并进一步明确各类别的度量标准,为后续的生态系统服务量化、模拟、制图及评价等研究奠定基础,从而有助于推动生态系统服务在流域水环境管理实践中的应用。

3 基于流域水环境管理的生态系统服务分类体系

3.1 分类思路

首先,确定生态系统服务分类的原则,具体如下:

(1)科学性与综合性。在参考前人研究的基础上确定生态系统服务分类方案,使分类具有一定科学依据;同时,基于生态系统服务的理论分析与实践应用,综合自然科学和社会学等相关学科知识进

行分类。

(2)系统性与层次性。综合考虑生态系统的直接和间接服务,包括生态系统服务结构、功能、过程的支撑作用、人类感知及享受的终端利益等。同时,分类也应具有不同的等级层次,以体现生态系统服务来源、特征及利益相关者。

(3)目标性与针对性。针对中国流域普遍面临的水环境问题,确定以流域水环境健康为管控目标,结合流域水、陆生态系统过程及功能的分析,建立可用于流域水环境管理的生态系统服务分类体系,以便为后续的生态系统服务综合评估及管理决策奠定基础。

(4)实用性与可操作性。从人类福祉和管理需求的双重角度出发,建立明确的分类框架,有助于相近区域的推广应用。同时,围绕流域这一特定的空间区域及其主要的水环境问题,结合利益相关者的对应分析,建立切实可行的分类体系。

构建基于流域水环境管理的分类体系,首先应系统分析流域面临的主要水环境问题及管理需求,据此确定管理目标,识别与其相关的服务类型。根据中国多数流域的现实情况,本文确定以水环境健康为管理目标。在已有分类体系的基础上,综合考虑水陆生态单元对水环境健康的作用,筛选与该目标有直接、间接及产出关系的服务类型,结合相应的度量标准,确定本文的分类体系,以满足流域水环境管理的决策需求。已有研究综述表明,生态系统服务不仅是指对人类有用的生态系统功能,还包括被人类直接或间接利用的生态系统过程^[33]。因此,基于上述原则,将已有研究的生态系统过程及功能逐步分解,得到本文的生态系统服务类型,具体分析思路如图2所示。

本分类体系中,可以表征流域水环境管理目标,且直接影响流域水环境健康的生态系统过程及功能为直接服务,通过度量该类服务可确定管理目标是否实现;支撑直接服务,有助于维持流域水环境健康的过程及功能为间接服务,通过管控该类服务可保障直接服务;与水环境有关,并被人类享受、利用或感知的服务功能,或是影响水环境,且需要人类社会资本输入才能表现出的服务功能为生态收益,通过度量该类服务可确定管理目标对社会福祉的贡献程度。据此,本文的生态系统服务分为3

2019年7月

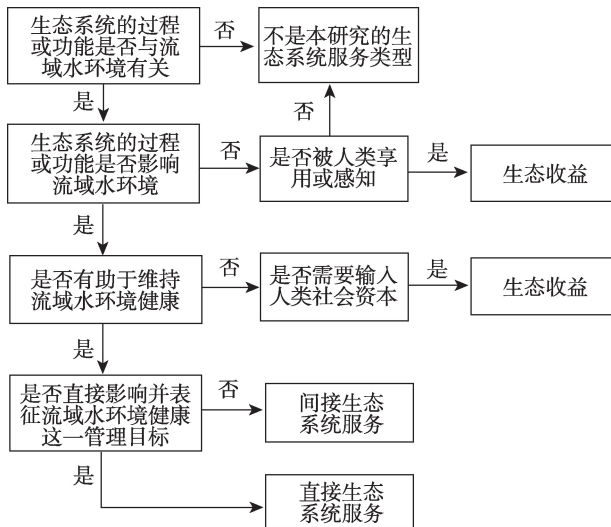


图2 基于流域水环境管理的生态系统服务分类思路

Figure 2 Framework of classification of ecosystem services based on water environment management in watersheds

大类,即直接服务、间接服务及生态收益。

生态系统服务各类之间相互关系如图3所示。其中,直接服务是人类可管控的、直接影响流域水环境健康的关键服务,表示管理目标实现的具体标准;间接服务是支撑直接服务产生,并有助于维持流域生态系统发展的过程及功能;生态收益则是管理目标下对人类福祉有重要贡献的有形或无形产出,是直接服务和间接服务相互作用的结果,并在一定的情况下,还会反作用于直接服务。例如,为得到更多粮食产品这一收益,农户会采取增施化肥的农田管理方式,从而增加营养盐的流失,影响流域生态系统的水体净化服务。总之,生态系统服务

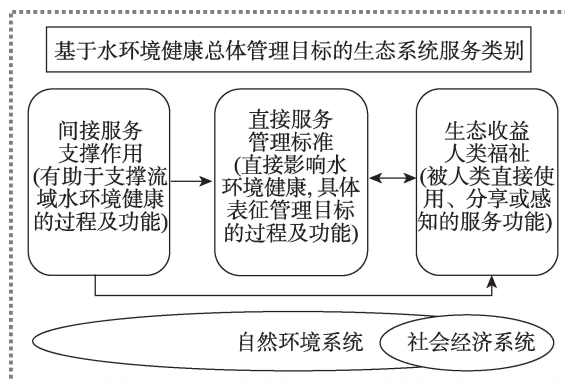


图3 基于流域水环境管理的生态系统服务类别及其相互关系

Figure 3 Category and relationship of ecosystem services based on water environment management in watersheds

各类别之间的关系可概括为:间接服务影响直接服务和生态收益,而直接服务与生态收益具有相互的作用关系。

图3也表明生态系统服务的形成机制:间接服务和直接服务主要为自然环境系统的运行结果,而生态收益是在自然环境系统的基础上,结合社会经济系统中的资本投入和人类主观感知而产生。例如,粮食生产除了需要自然环境中的土地具有生产功能外,还需要农户的种植管理活动来促进其发挥生产功能;生态系统提供的审美、休闲娱乐等生态收益,都需要人类自己前往该地,并亲身体会自然美景。

3.2 分类内容

流域生态系统服务的分类等级及具体内容如表4所示。该分类体系主要针对的生态单元是流域景观用地单元,按照管理应用的可操作性和生态系统服务的表现特征将其分为3个等级,即类别、种类及类型。其中,类别为直接服务、间接服务和生态收益,与Fisher等^[25]的研究相近,区别在于直接服务和间接服务的分类依据是流域水环境管理目标,而生态收益则是管理目标实现的情况下生态系统产出对人类福祉的影响。种类是对每一类别的进一步划分,通过参考CICES的分类研究,将每一类别按照生态系统的过程及功能进行分类,如生态系统的过滤、储存、封存、累积、传递、分解、消减等。类型是在种类基础上的进一步分类,是生态系统服务类型的最终指标,可以进行相应的量化、模拟、评价等研究。

(1)直接服务类。中国流域普遍面临水质污染、水资源短缺的环境问题,且水质下降和水量不足已成为限制流域水环境健康发展的关键因素。因此,在流域水环境健康总体目标的前提下,将生态系统水质净化和水量储存的过程及功能作为流域水环境管理的具体目标,与之相关的生态系统服务则为直接服务。该类服务主要以物质量表征,如水中总氮或总磷的减少量可作为营养盐净化服务的表征指标,水库蓄水量可作为地表水储存服务的表征指标等。通过考核这些指标的变化情况,分析流域水环境管治效果,并作为今后管理政策制定的重要依据。

表4 基于流域水环境管理的生态系统服务分类列表

Table 4 Classes of ecosystem services based on water environment management in watersheds

类别	种类	类型
直接服务	过滤过程及功能	总氮、总磷等营养盐的净化服务
	分解过程及功能	碳氢化物、除草剂等其他污染物的净化服务
	储存过程及功能	地表水、地下水的储存服务
间接服务	维持过程及功能	土壤形成、土壤保持服务
	消减过程及功能	水流调节、洪水调蓄服务
	传递过程及功能	氮、磷、钾等物质循环服务
生态收益	物质供给功能	淡水、能源、水产品、粮产品、运输通道的供给服务
	抵御风险功能	疾病防控、栖息地保障的防护服务
	文化供给功能	休闲娱乐、美学信息、科学教育、地方感的精神享受服务

(2)间接服务类。生态系统通过母质、植被、微生物等组成要素形成并保持土壤,以减少因水土流失而造成的水环境恶化;同时生态系统组分也可以调节水流速度及流向,提高水量的有效储存,减少因水量变化而产生的水体污染;生态系统各组分相互作用可促进氮、磷等物质的流动及循环,避免因过分积累而产生的污染效应。可见,生态系统维持、消减及传递的过程及功能对流域水质和水量的变化具有调节作用,从而间接影响流域水环境健康。通过采取相应的措施优化或调整这些服务,可促进直接服务的提高,最终达到总体管理目标。

(3)生态收益类。在间接服务的支撑下,直接服务提高可促进流域生态系统的有效产出,给人类提供更多利益,包括物质产品、生存环境及文化娱乐,以满足人类需求,增加社会福祉。因此,生态收益类服务是体现流域水环境健康这一管理目标的

最终效果。通过采取多种经济、管理及心理等社会学方法,对生态收益类服务进行价值化,使管理决策者具有直观认识,从而推动水环境管理目标的实现。

3.3 多种分类体系的对比

基于流域水环境管理的生态系统服务分类体系是在已有分类体系的基础上,通过生态系统过程及功能的逐步分解得到,因此该分类体系中的具体服务类型与前人研究具有一定的相似性,但类别归属存在显著差异(表5),具体如下:本文的水质净化、水量储存服务是直接表征流域水环境管理目标的关键服务,可分别对应MA和CICES分类中的调节和供给服务类,在FEGS/NESCS分类中可视为多种环境产生的受益者较多的服务;土壤保持、水流调节、洪水调蓄服务是支撑水环境管理目标实现的间接服务,可对应MA和CICES分类中的调节服务

表5 多种分类体系的对比分析

Table 5 Comparison of multiple classification systems

生态系统服务类型	本研究的分类体系	MA的分类体系	CICES分类体系	FEGS/NESCS分类体系
水质净化	直接服务类	调节服务类	调节服务类	湿地、林地等环境对用水者、旅游者、污水处理厂等人的利益
水量储存	直接服务类	供给服务类	供给服务类	地表环境对灌溉者、养殖户、旅游者等人的利益
土壤保持	间接服务类	调节服务类	调节服务类	林地、草地、湿地等环境对农民、林户等种植者的利益
土壤形成	间接服务类	支撑服务类	调节服务类	—
水流调节	间接服务类	调节服务类	调节服务类	河流、湖泊或坑塘等环境对水利、发电部门的利益
洪水调蓄	间接服务类	调节服务类	调节服务类	林地、草地、湿地等地表植被环境对居民、市政部门的利益
物质循环	间接服务类	支撑服务类	调节服务类	—
农产品	生态收益	供给服务类	供给服务类	农业环境对农户、居民的利益
疾病防控	生态收益	调节服务类	调节服务类	—
休闲娱乐	生态收益	文化服务类	文化服务类	地表林地、草地、水体等景观环境对旅游者、居民的利益
科学教育	生态收益	文化服务类	文化服务类	地表水体、植被、农业等环境对学生、教师、科研工作者的利益

类;农产品、休闲娱乐和科学教育服务是流域水环境管理目标实现的产出效果,也是流域水环境健康带给人类的最终收益,可对应MA和CICES分类中的供给与文化服务类,在FEGS/NESCS分类中也是重要的终端服务;土壤形成和物质循环服务是维持流域水环境目标的中间服务,在MA分类中视为支撑服务类,在CICES分类中近似为调节服务类,而在FEGS/NESCS分类体系中未体现;此外,本研究生态收益类别中的疾病防控服务,可对应MA和CICES分类中的调节服务,但在FEGS/NESCS分类体系中未说明。

分类体系的差异性缘于其分类的出发点不同。已有研究多根据生态系统的产出特征及对人类收益影响进行分类,如MA分类体系侧重生态系统功能、FEGS/NESCS分类体系考虑人类终端需求等。本文则着重考虑管理者的决策需求,针对流域普遍存在的水环境问题,将水环境健康作为流域综合管理目标,根据与该目标的不同关系,将生态系统服务分为直接服务、间接服务及生态收益3大类。同时,各类别可采用不同的方式进行量化,直接服务主要以物理量表征,可视为水环境管治标准;生态收益可通过价值化进行度量,有助于管理者的直观认知,体现直接服务对人类福祉的作用效果;而间接服务作为重要的支撑环节,应综合多学科的技术方法进行量化。总之,该分类围绕水环境管理目标,对其进行具体分解,并明确管理目标实现的生态收益,可避免生态系统服务的重复计算,有助于管理政策实施的成本效益分析。

此外,与FEGS/NESCS分类体系相似,该分类体系也具有一定的结构相对性。在FEGS/NESCS分类体系中,人类需求的改变会影响分类结果;本分类体系则受控于管理目标,其类别划分具有一定的可变性,即当管理目标变动时,直接服务和间接服务也将会发生变化。例如,在中国的中西部欠发达的干旱地区,水体污染程度相对较低,但由于干旱缺水,供水量严重不足,因此这些地区的水环境管理目标应为水量供给,其直接服务主要基于生态系统的产水及储水功能;同样地,在水土流失严重的流域,直接服务还应考虑生态系统的土壤保持功能。

4 结语

生态系统服务作为链接自然生态系统与人类福祉的重要纽带,已成为人类可持续发展面临的重要议题之一。生态系统服务类型繁多,对其进行合理分类是生态系统服务研究的基础。虽然前人对生态系统服务的分类体系进行了卓有成效的研究,但考虑人类管理需求的分类研究相对欠缺。为此,本文在总结已有分类体系的基础上,根据中国流域面临的主要水环境问题,确定流域水环境管理目标,通过分析与该目标的关系,建立了一套适用于流域水环境管理的分类体系。本文在理论和实践层面均具有重要意义:在理论层面,是对生态系统服务分类的深入探索,根据生态系统服务的研究现状及发展趋势,结合已有研究成果,确定分类基准及具体内容,从而进一步拓展了生态系统服务的分类研究,为后续开展生态系统服务量化、模拟、制图及评价等相关研究奠定基础;在实践层面,首先本文主要针对流域这一特征空间,有助于流域关键生态系统服务的识别及特征分析,为流域生态系统综合管理提供支撑;其次,在分类体系的构建过程中,明确了各类服务与管理目标的对应关系及其度量方式,从而避免生态系统服务的重复计算,便于生态系统服务的经济价值化,促进生态系统服务在生态补偿、生态环境规划等政策方面的应用。

根据流域水环境管理目标和决策需求,建立生态系统服务分类框架是在理论层面的初步探索,未来仍需结合管理实践对其进行论证及优化。通过不同流域的应用案例识别可作为管理决策节点的关键服务类型,明确分类指标的可度量性及在实际应用中的可操作性。同时,结合后续的时空综合评价和多种服务相互关系研究,进一步验证分类体系的可行性,从而推动生态系统服务从理论研究走向管理实践。

参考文献(References):

- [1] 傅伯杰, 于丹丹. 生态系统服务权衡与集成方法[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 1-9. [Fu B J, Yu D D. Trade-off analyses and synthetic integrated method of multiple ecosystem services[J]. Resources Science, 2016, 38(1): 1-9.]
- [2] 李琰, 李双成, 高阳, 等. 连接多层次人类福祉的生态系统服务

- 分类框架[J]. 地理学报, 2013, 68(8): 1038–1047. [Li Y, Li S C, Gao Y, et al. Ecosystem services and hierarchic human well-being: Concepts and service classification framework[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(8): 1038–1047.]
- [3] Daily G C, Matson P A. Ecosystem services: From theory to implementation[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(28): 9455–9456.
- [4] McKenzie E, Posner S, Tillmann P, et al. Understanding the use of ecosystem service knowledge in decision making: Lessons from international experiences of spatial planning[J]. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 2014, 32(2): 320–340.
- [5] La Notte A, D'Amato D, Mäkinen H, et al. Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 74: 392–402.
- [6] Guerry A D, Polasky S, Lubchenco J, et al. Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(24): 7348–7355.
- [7] Daily G C. *Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems*[M]. Washington: Island Press, 1997.
- [8] Costanza R, Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253–260.
- [9] United Nations Environmental Program. *Ecosystems and Human Well-Being: Summary for Decision Makers*[M]. Washington: Island Press, 2005.
- [10] Pandeya B, Buytaert W, Zulkafli Z, et al. A comparative analysis of ecosystem services valuation approaches for application at the local scale and in data scarce regions[J]. *Ecosystem Services*, 2016, 22: 250–259.
- [11] McDonough K, Hutchinson S, Moore T, et al. Analysis of publication trends in ecosystem services research[J]. *Ecosystem Services*, 2017, 25: 82–88.
- [12] Costanza R, Groot R D, Braat L, et al. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? [J]. *Ecosystem Services*, 2017, 28: 1–16.
- [13] 谢高地, 肖玉, 鲁春霞. 生态系统服务研究: 进展、局限和基本范式[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(2): 191–199. [Xie G D, Xiao Y, Lu C X. Study on ecosystem services: Progress, limitation and basic paradigm[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(2): 191–199.]
- [14] Seppelt R, Dormann C F, Eppink F V, et al. A quantitative review of ecosystem service studies: Approaches, shortcomings and the road ahead[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48(3): 630–636.
- [15] Costanza R, De Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 26(1): 152–158.
- [16] Wallace K J. Classification of ecosystem services: Problems and solutions[J]. *Biological Conservation*, 2007, 139(3): 235–246.
- [17] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. *生态学报*, 1999, 19(5): 19–25. [Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 19–25.]
- [18] 张彪, 谢高地, 肖玉, 等. 基于人类需求的生态系统服务分类[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(6): 64–67. [Zhang B, Xie G D, Xiao Y, et al. Classification of ecosystem services based on human demand[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(6): 64–67.]
- [19] Brauman K A, Daily G C, Duarte T K, et al. The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services[J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2007, 32: 67–98.
- [20] Haines-Young R, Potschin M. *Methodologies for Defining and Assessing Ecosystem Services*[R]. Nottingham: Centre for Environmental Management Report, 2009.
- [21] Boyd J W, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units[J]. *Ecological Economics*, 2007, 63(2): 616–626.
- [22] Fisher B, Turner K, Zylstra M, et al. Ecosystem services and economic theory: Integration for policy-relevant research[J]. *Ecological Applications*, 2008, 18(8): 2050–2067.
- [23] Hein L, Van Koppen K, De Groot R S, et al. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services[J]. *Ecological Economics*, 2006, 57(2): 209–228.
- [24] 曹祺文, 卫晓梅, 吴健生. 生态系统服务权衡与协同研究进展[J]. *生态学报*, 2016, 35(11): 3102–3111. [Cao Q W, Wei X M, Wu J S. A review on the tradeoffs and synergies among ecosystem services[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(11): 3102–3111.]
- [25] Fisher B, Turner R K, Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(3): 643–653.
- [26] Johnston R J, Russell M. An operational structure for clarity in ecosystem service values[J]. *Ecological Economics*, 2011, 70(12): 2243–2249.
- [27] Nahlik A M, Kentula M E, Fennessy M S, et al. Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem service concepts into practice[J]. *Ecological Economics*, 2012, 77: 27–35.
- [28] Landers D H, Nahlik A M. *Final Ecosystem Goods and Services Classification System(FEGS-CS)*[R]. Washington: U. S. Environmental Protection Agency, 2013.
- [29] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系[J]. *生态学报*, 2017, 37(2): 341–348. [Fu B J, Yu D D, Lv

2019年7月

- N. An indicator system for biodiversity and ecosystem services evaluation in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(2): 341–348.]
- [30] Landers D H, Nahlik A M, Rhodes C R. The Beneficiary Perspective: Benefits and Beyond[A]. Potschin M, Haines–Young R, Fish R, et al. *Routledge Handbook of Ecosystem Services*[C]. London: Taylor & Francis Group, 2016.
- [31] Sinha P, Van H G. National Ecosystem Services Classification System (NESCS): Framework Design and Policy Application[R]. Washington: United States Environmental Protection Agency Report, 2015.
- [32] 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.
- [33] TEEB. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) Ecological and Economic Foundations[M]. London: Earthscan, 2010.
- [34] 杜乐山, 李俊生, 刘高慧, 等. 生态系统与生物多样性经济学 (TEEB)研究进展[J]. *生物多样性*, 2016, 24(6): 686–693. [Du L S, Li J S, Liu G H, et al. Progress in the researches on the Economics of Ecosystems and Biodiversity(TEEB) [J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(6): 686–693.]
- [35] Haines–Young R, Potschin M. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): 2011 Update[R]. Nottingham: University of Nottingham, 2011.
- [36] Haines–Young R, Potschin M. Common International Classification of Ecosystem Services(CICES, Version 4. 1)[R]. Copenhagen: European Environment Agency, 2012.
- [37] Potschin M, Haines–Young R. Defining and Measuring Ecosystem Services[A]. Potschin M, Haines–Young R, Fish R, et al. *Routledge Handbook of Ecosystem Services*[C]. London: Taylor & Francis Group, 2016.
- [38] Haines–Young R, Potschin M, Kienast F. Indicators of ecosystem service potential at European scales: Mapping marginal changes and trade-offs[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 39–53.
- [39] Mononen L, Auvinen A P, Ahokumpu A L, et al. National ecosystem service indicators: Measures of social–ecological sustainability [J]. *Ecological Indicators*, 2016, 61: 27–37.
- [40] Albert C, Bonn A, Burkhard B, et al. Towards a national set of ecosystem service indicators: Insights from Germany[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 61(1): 38–48.
- [41] Costanza R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed[J]. *Biological Conservation*, 2008, 141(2): 350–352.
- [42] 王玲慧, 张代青, 李凯娟. 河流生态系统服务价值评价综述[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(S1): 10–14. [Wang L H, Zhang D Q, Li K J. A survey of river ecosystem services value evaluation [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(S1): 10–14.]
- [43] Turner R K, Van den Bergh J C, Söderqvist T, et al. Ecological–economic analysis of wetlands: Scientific integration for management and policy[J]. *Ecological Economics*, 2000, 35(1): 7–23.
- [44] 张苹, 马涛. 湿地生态系统服务价值评估的国内研究评述[J]. *湿地科学*, 2011, 9(2): 203–208. [Zhang P, Ma T. A comment on studies on evaluation of service value of wetland ecosystem in China[J]. *Wetland Science*, 2011, 9(2): 203–208.]
- [45] Zhang W, Ricketts T H, Kremen C, et al. Ecosystem services and dis–services to agriculture[J]. *Ecological Economics*, 2007, 64(2): 253–260.
- [46] 吴绍华, 虞燕娜, 朱江, 等. 土壤生态系统服务的概念、量化及其对城市化的响应[J]. *土壤学报*, 2015, 52(5): 970–978. [Wu S H, Yu Y N, Zhu J, et al. Soil ecosystem services: Concept, quantification and response to urbanization[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(5): 970–978.]
- [47] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 草地生态系统服务功能分析及其评价指标体系[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(6): 155–160. [Zhao T Q, Ouyang Z Y, Zheng H, et al. Analyses on grassland ecosystem services and its indexes for assessment[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(6): 155–160.]
- [48] 王其翔, 唐学玺. 海洋生态系统服务的内涵与分类[J]. *海洋环境科学*, 2010, 29(1): 131–138. [Wang Q X, Tang X X. Connotation and classification of marine ecosystem services[J]. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(1): 131–138.]
- [49] 尹飞, 毛任钊, 傅伯杰, 等. 农田生态系统服务功能及其形成机制[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(5): 929–934. [Yin F, Mao R Z, Fu B J, et al. Farmland ecosystem service and its formation mechanism[J]. *Chinses Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(5): 929–934.]
- [50] 毛齐正, 黄甘霖. 城市生态系统服务研究综述[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(4): 1023–1033. [Mao Q Z, Huang G L. Urban ecosystem services: A review[J]. *Chinses Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(4): 1023–1033.]
- [51] 韩会庆, 苏志华. 喀斯特生态系统服务研究进展与展望[J]. *中国岩溶*, 2017, 36(3): 352–358. [Han H Q, Su Z H. Research progress and prospects of karst ecosystem services[J]. *Carsologica Sinica*, 2017, 36(3): 352–358.]
- [52] De Groot R S, Alkemade R, Braat L, et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making[J]. *Ecological Complexity*, 2010, 7(3): 260–272.
- [53] Dodds W K, Perkin J S, Gerken J E. Human impact on freshwater ecosystem services: A global perspective[J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47(16): 9061–9068.
- [54] Trabucchi M, Ntshotsho P, O’Farrell P, et al. Ecosystem service trends in basin–scale restoration initiatives: A review[J]. *Journal*

of Environmental Management, 2012, 111: 18–23.

studies presenting the right information for decision making?[J].

[55] Wright W C C, Eppink F V, Greenhalgh S. Are ecosystem service

Ecosystem Services, 2017, 25: 128–139.

Classification of ecosystem services and a reclassification framework of watershed ecosystem services

LIU Yang^{1,2}, BI Jun³, LV Jianshu⁴

(1. Business School, University of Jinan, Jinan 250002, China; 2. Shandong Longshan Green Economic Research Center, Jinan 250002, China; 3. School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210046, China; 4. School of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: Application of ecosystem service theory to management practice is an important trend of research. Such application depends on the classification system of ecosystem services that meets human management needs. This article reviewed international and Chinese classifications of ecosystem services, and found that current works focus on the characteristics of ecosystem output and its correspondence to human benefits, but lack a system specific to a certain management target and conducive to human management decision. Therefore, based on water environment problems and management demands, this study developed a new classification system of ecosystem services suitable to water environment management at watershed scale, and discussed the similarities and differences with several other classifications. This proposed classification system took water environment health as the management target. According to the relationships with this target, ecosystem services were divided into three categories: direct services, indirect services, and ecological benefits. Direct services were defined as the ecosystem processes and functions that directly reflect the management target, and were measured by physical quantity. Indirect services were the processes and functions that support the achievement of the management target, and were quantified using multidisciplinary methods. Ecological benefits indicate the final effect of the management target and were calculated by valuation methods. This classification system can help identify and analyze critical ecosystem services in watersheds, which lays a foundation for subsequent simulation, mapping, and evaluation of ecosystem services.

Key words: ecosystem services; classification system; water environment management; water environmental health; watershed; benefit