

DOI: 10.5846/stxb201606121124

白杨, 王敏, 李晖, 黄沈发, Juha M. Alatalo. 生态系统服务供给与需求的理论与管理方法研究. 生态学报, 2017, 37(17): - .

Bai Y, Wang M, Li H, Huang S F, Juha M. Alatalo. Ecosystem service supply and demand: Theory and management application. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(17): - .

生态系统服务供给与需求的理论与管理方法研究

白 杨^{1,2,*}, 王 敏², 李 晖³, 黄沈发², Juha M. Alatalo⁴

1 中国科学院西双版纳热带植物园, 西双版纳 666303

2 上海市环境科学研究院, 上海 200233

3 云南大学 建筑与规划学院, 昆明 650500

4 Department of Biological and Environmental Sciences, College of Arts and Sciences, Qatar University, P.O. Box 2713, Doha, Qatar

摘要: 生态系统服务是当前可持续科学研究的热点之一。随着环境保护与管理需求的不断增加, 政策制定者希望将生态系统服务信息更多地融入管理实践中。由于理论的不确定性和研究方法的局限性, 如何准确地评价生态系统服务、如何考虑不同利益相关者的需求, 提取重要的生态系统服务信息给决策者参考, 仍然是当前该领域研究的难点。本研究基于生态系统服务的产生、传递和消耗过程, 区分生态系统服务的潜在供给、实际供给和人类需求; 引入生态系统服务供需比和供给率两个指标, 为区域间自然资源资产的比较提供一种方法; 以白洋淀流域为案例, 采用生态系统服务矩阵法, 结合 GIS 空间模拟技术, 揭示生态系统服务供给与需求的时空特征。白洋淀流域 2010 年生态系统服务的供给率和供需比分别是: 0.4966 和 0.1131, 说明流域生态系统服务供给状态较好, 且处于盈余状态。对流域内供给率较高且供给处于盈余的区域, 应作为生态保护与补偿的主要区域; 对生态系统服务需求较大的区域应进行必要的生态建设与修复。研究结果为区域生态环境管理和政策制定提供了实际的科学依据。

关键词: 生态系统服务; 供给; 需求; 白洋淀流域

Ecosystem service supply and demand: Theory and management application

BAI Yang^{1,2,*}, WANG Min², LI Hui³, HUANG Shenfa², Juha M. Alatalo⁴

1 Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Xishuangbanna 666303, China

2 Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China

3 School of Architecture and Planning, Yunnan University, Kunming 650500, China

4 Department of Biological and Environmental Sciences, College of Arts and Sciences, Qatar University, P.O. Box 2713, Doha, Qatar

Abstract: Ecosystem service is a very important issue for current, sustainable scientific research. Environmental protection and management requirements are increasing and policymakers hope to incorporate ecological service information into decision-making and consultations. Because of theory uncertainty and methods limitation, it is, at present, very difficult to accurately evaluate ecosystem services and extract important ecosystem services information that can help decision-makers meet the demands of various stakeholders. In this study, we first identified and defined ecosystem service potential supply, actual supply (flow), and human demand based on the processes and mechanisms involved in ecosystem service generation and delivery. Two indicators were then introduced, the supply rate and supply-demand ratio, which provide a mean that can be used to compare the status of natural capital between regions. We also investigated the ecosystem service matrix and GIS spatial simulation technology and used these indicators to investigate the Baiyangdian River Basin as a case study. The aim

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(41501580); 上海市环境科学研究院创新基金(CX201505)

收稿日期: 2016-06-12; **网络出版日期:** 2016-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: youngbcs@gmail.com

was to reveal the spatio-temporal characteristics of service supply and demand. The supply rate and supply-demand ratio for the Baiyangdian River Basin in 2010 were 0.4966 and 0.1131, respectively. This indicated that the ecosystem service supply status was good and in surplus. The places with high supply rate should be considered as hotspots for ecological protection and compensation. However, places with high ecosystem service demand should concentrate on ecological construction and restoration. The results provide a scientific basis for regional ecological environment management and policy-making.

Key Words: ecosystem service; supply; demand; Baiyangdian River Basin

随着生态学科的发展和人类对其认知能力的提高,生态系统服务的理念在生态环境管理方面的应用前景正被寄予厚望^[1-3]。与此同时,不同的利益相关者,尤其是政策决策者,对这一领域的期望更高^[4]。他们希望生态系统服务的研究能提供给他们更多、更可靠的信息和技术,来评估与预测相关决策可能带来的生态后果,以此支撑和优化他们的决策^[5]。同时,政策决策者还非常感兴趣的是,其所在的省、市范围内自然生态系统提供的服务,与别的省、市比较起来处于什么水平。由于理论和方法的不确定性,使得上述应用仍然比较困难,也是这一理念应用于实际生态系统管理的主要障碍^[6]。

如何准确的区分和界定生态系统服务、如何对其进行准确的评价(或量化)、如何准确地提取生态系统服务信息融入决策之中,是这一领域亟待解决的热点和难点^[5]。生态系统服务要迈出从理论到管理实践的坚实一步,必须对生态系统服务进行准确的定义和评价,重点是要弄清生态系统服务从产生、传递到消耗的全过程^[5,7]。目前,国内外在该领域的研究热点主要集中于:(1)生态系统服务产生机理。生态系统结构-过程-功能-服务的相互作用机理、尺度关联和尺度转换等是这一方向研究的重点和难点^[8]。(2)生态系统服务量与价值量评估及其时空分布,是这一领域研究的核心和重点。由于评估方法的差异和评估指标选取的不同,导致生态系统服务评估结果差异很大。标准化的生态系统服务评估方法,尤其是价值化方法,是这一方向亟待解决的难点^[9]。(3)生态系统服务的驱动、响应与反馈机制。气候变化、外来物种入侵、人类活动干扰等,直接或间接的驱动土地利用/土地覆盖,影响生态系统的结构、过程与功能,进而影响生态系统服务的供给。供给的波动,也就是生态系统服务的响应,将直接的反馈到人类的福祉上。供给下降,人类福祉减少,人类的需求得不到满足,供需矛盾由此产生^[10]。(4)生态系统服务的协同和权衡。协同是指某一种服务的增加会对其他几种服务产生一定的促进和增幅作用,比如固碳、土壤保持和涵养水源之间;权衡是指两两服务之间,或两组服务之间,只能二选其一,比如粮食生产与水源涵养。生态系统服务的协同与权衡,是目前这一领域用于指导管理与决策的主要依据之一^[11]。(5)生态系统服务的供需平衡及空间匹配,是这一领域研究的新方向和新热点。大多数的生态系统服务供给和人类需求在空间上是极为不匹配的,甚至在很多地方出现“赤字”^[5]。上述研究进展,从不同的角度揭示了生态系统服务在不同的景观尺度上是如何产生与传递,如何对其进行可视化、定量化、价值化的度量,以及如何用于指导政策的决策,推动了这一交叉学科的不断深入。

本研究的目的是通过揭示生态系统服务供给与需求的耦合机制,推进生态系统服务从理论走向管理实践,服务于国家生态文明建设战略需求^[12]。本研究在综述目前国内外生态系统服务研究进展的基础上,界定生态系统服务的概念与内涵;基于生态系统服务的产生、传递和消耗的过程,区分生态系统服务的潜在供给能力、实际供给大小和人类实际需求等概念;以白洋淀流域作为研究对象,采用生态系统服务矩阵法^[13],结合GIS空间模拟技术,构建具体的指标体系,揭示生态系统服务供给与需求的特征,为区域生态环境管理和政策制定提供科学依据;在此基础上,引入生态系统服务的供需比和供给率^[5]两个指标,为区域间生态系统服务的比较提供一种方法。

1 生态系统服务及相关概念的界定

生态系统服务概念自提出以来,其定义与内涵备受争议。目前比较认可的概念是 US EPA (2009)^[14]和

TEEB(2010)^[15]提出的:生态系统服务是生态系统对人类福祉和效益的直接或间接贡献。与其他的概念^[16]相比,他的合理性在于区别了生态系统的中间服务和最终服务,为避免生态系统服务的重复计算提供了依据。生态系统的最终服务是人类直接利用生态系统自然组分产生效益的过程,有直接的受益者;而生态系统的中间服务只是产生生态系统最终服务的生态特征或过程,没有直接的受益者^[8]。

生态系统服务要更好的应用于实际管理,必须要加入受益者分析,也就是需要进一步区分生态系统服务的潜在供给、实际供给和人类需求^[17]。生态系统基于其自身结构与功能的完整性,能提供一系列潜在的生态系统服务,即生态功能。人类实际消耗或需求时,将潜在的生态系统服务部分或全部的转化为实际的生态系统服务,即最终生态系统服务。人类福祉实际上就是来自于他们实际享用的生态系统服务。而这实际享用到的生态系统服务的量,取决于生态系统服务的实际供给与人类本身需求或消耗之间的关系^[2,13]。在没有外源输入的情况下,生态系统服务潜在供给、实际供给和人类需求有如下关系:

①潜在生态系统服务供给 $\geq$ 实际生态系统服务供给

②生态服务 = $\begin{cases} \text{实际供给} > \text{人类需求}, \text{人类需求} \\ \text{实际供给} = \text{人类需求}, \text{Either} \\ \text{实际供给} < \text{人类需要}, \text{实际供给} \end{cases}$

生态系统服务的实际供给来自于生态系统自身的完整性,而生态完整性的自组织能力则依靠于生态系统自身的结构与过程^[18]。因此,人类活动或决策引起的土地利用或土地覆盖改变对生态完整性带来的影响,将直接导致某一个或几个生态系统服务供给能力的提高或下降。至于人类对生态系统服务的需求而言,政策因素、人口动态、经济因素、市场机制或文化习惯等都可能造成不同群体的差异^[19](图1)。

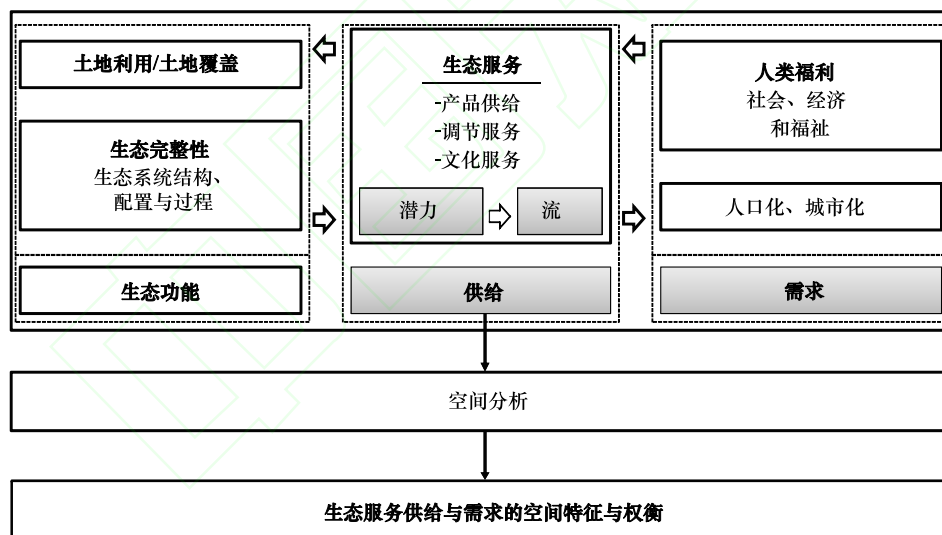


图1 生态系统服务供给与需求产生的理论框架(在Burkhard等^[13]的基础上做较大修改)

Fig.1 The theoretical framework of ecosystem service supply and demand (Revised from Burkhard et al., 2014)

2 生态系统服务的两个指标

本研究引入生态系统服务的供给率和供需比两个指数,来进行区域间生态系统服务整体特征的对比^[5]。供给率是指特定区域内,生态系统提供实际生态系统服务的能力,值越大表示生态系统实际供给的转化率越高,即生态系统服务从潜在供给转换为实际供给的比重越多。供需比是用来反映特定区域内生态系统的实际供给和人类需求之间的平衡状态,可能是盈余或赤字,统称为生态系统的不匹配特征。其计算方法为:

$$\text{供给率} = \frac{\text{实际供给}}{\text{潜在供给}}$$

$$\text{供需比} = \frac{\text{实际供给} - \text{人类需求}}{(\text{潜在供给}_{\text{最大值}} + \text{人类需求}_{\text{最大值}}) / 2}, \begin{cases} >0, \text{盈余} \\ =0, \text{平衡} \\ <0, \text{赤字} \end{cases}$$

3 案例研究

本研究选取半自然景观构成的白洋淀流域为研究对象,采用 2010 年该流域的土地利用数据,示范生态系统服务供给率和供需比两个指标的计算方法。2010 年白洋淀流域土地利用构成 36.57% 为农业用地,26.74% 为草地,26.32% 为森林和灌丛,1.02% 为水域,建设用地为 9.35%。流域内人类活动剧烈,生态系统服务供需矛盾较大。人类活动对生态服务的需求主要是洪涝调蓄、土壤保持和授粉等。在生态系统服务具体指标的选取上,仅考虑提供最终生态系统服务的供给服务、调节服务和文化服务三项,共 19 个类型。

由于目前对于各个生态系统服务类型的评估方法并不成熟,本研究采用 Burkhard 等^[13]提出的“0—5 分矩阵法”来对各个类型进行专家打分。专家的选择需要满足以下三个条件:第一:从事生态系统服务领域的研究;第二:对评价区域比较熟悉;第三:为避免理解上的误差,应进行面对面的访问。最终选择了 8 位专家进行打分,采用算术平均及四舍五入的方法得到研究区域生态系统潜在供给、实际供给和人类需求的得分值,带入供给率和供需比的计算公式,得出区域生态系统服务供需特征的整体得分值,专家打分的方法及处理流程在 Li 等^[5]的文献里有详细的阐述。尽管矩阵法存在很多问题,例如主观性太强,忽略了生态系统服务产生的尺度特征等^[5],但采用这个方法可以示范上述两个指数的计算过程,能将区域内众多的生态系统服务类型综合为一个指数进行区域间的对比。0 分表示生态系统服务的潜在供给、实际供给或人类需求最低;5 分表示生态系统服务的潜在供给、实际供给或人类需求最高,构建好的矩阵如图 2 所示。

白洋淀流域生态系统服务 2010 年的供给率和供需比分别是 0.4966 和 0.1131。从图 3 可以看出,流域内供给率和供需比在空间上差异很大,流域的西部和北部主要是由林地和灌丛覆盖,供给水平最高,供给率的最大值为 0.6316;流域的东部和南部主要是城镇建设用地和耕地,供给水平较低,供给率的最小值为 0.0010。由于该流域主要由自然(林地、灌丛等)或半自然(耕地等)景观构成,大部分区域的供给率为正,处于盈余状态,仅有城镇建设用地和园地等区域表现为赤字,因此流域整体的生态系统服务处于盈余状态。

4 讨论

4.1 理论上的应用

生态系统服务的可持续管理备受关注。随着环境保护与管理需求的不断增加,政策制定者和科研人员一直在探索如何将生态系统服务信息更多的融入决策咨询之中。他们首先会关注的问题就是如何实现区域间生态系统服务的对比及其考核。生态系统服务类型多样,由于目前学科本身的缺陷,要对所有类型进行评价,并综合为一个指数还比较困难。一方面物质量评价的结果很难进行整合,不同的生态系统服务量纲不一样,比如水源涵养,单位是立方米;固碳服务,单位是吨。另一方面,尽管对所有的指标进行价值化再加总可以得到一个总的价值量进行对比,但价值化过程本身还存在很多争议,尤其是不同区域主导的生态系统服务类型不一样,使得以总价值来进行对比更加的有失偏颇。本研究引入的两个指数,既能综合所有的生态系统服务类型,也是无量纲,能有效地应用于区域间的比较。需要注意的是,在实际应用这两个指标时,区域间生态系统服务的指标类型和数量可以不一致,但主导的生态系统服务类型必须要纳入进去^[5]。

4.2 方法上的应用

本研究采用了 Burkhard 等^[13]提出的矩阵法,对白洋淀流域生态系统服务的潜在供给、实际供给与需求进行了评价。该方法简单易操作、结果空间化呈现,适合于各种尺度的研究,尤其是基础数据较为贫乏的区域。但是,矩阵法也有其明显的缺陷。例如研究方法过于主观,取决于专家的偏好与认知;忽略了研究区域的尺度特征、空间异质性特征和生态系统质量特征;等等^[5,6]。同时,由于专家打分是基于区域在特定时间对生态系

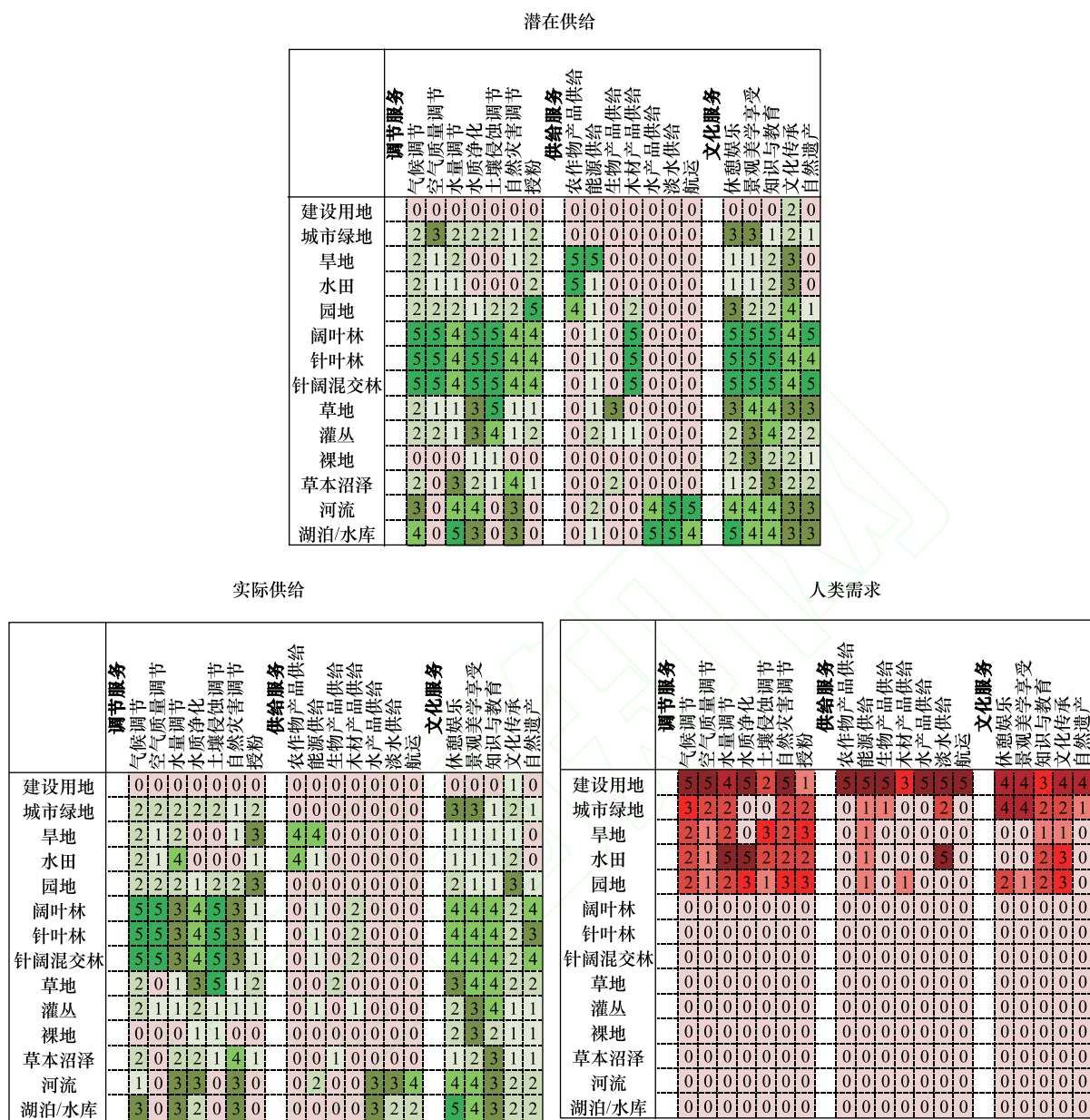


图2 生态系统服务潜在供给(左)、实际供给(中)与人类需求矩阵(右)

Fig.2 The matrix of ecosystem service potential supply (left), actual supply (middle) and human demand (right)

统服务供给做出的判断,因此进行不同时段比较时,有必要基于不同时段生态系统特征分别构建打分矩阵。尽管如此,矩阵法目前已经成功的应用于多个案例,用于揭示生态系统服务供给和需求的时空耦合特征,取得了较好的成果^[5,13]。更重要的是,采用矩阵法,本研究可以示范如何对新引入的两个指标进行计算。尽管采用矩阵法能对生态系统服务供给率和供需比进行快速的计算,本研究建议下一步的方向是基于生态系统特征和过程,揭示生态系统服务产生、传递与消耗的机制,构建生态系统服务潜在供给、实际供给与人类需求的生态系统评估模型,评估其实际产生和消耗的物质质量或服务量,来进行供给率和供需比的计算,将使得这两个指标的计算结果更加的准确。

4.3 管理上的应用

白洋淀流域的土地利用以农田为主,其次是林地和灌丛等,2010年建设用地仅占流域总面积的9.35%,属于半自然景观构成的流域^[20]。2010年,白洋淀流域生态系统服务的供给率和供需比分别是:0.4966和0.

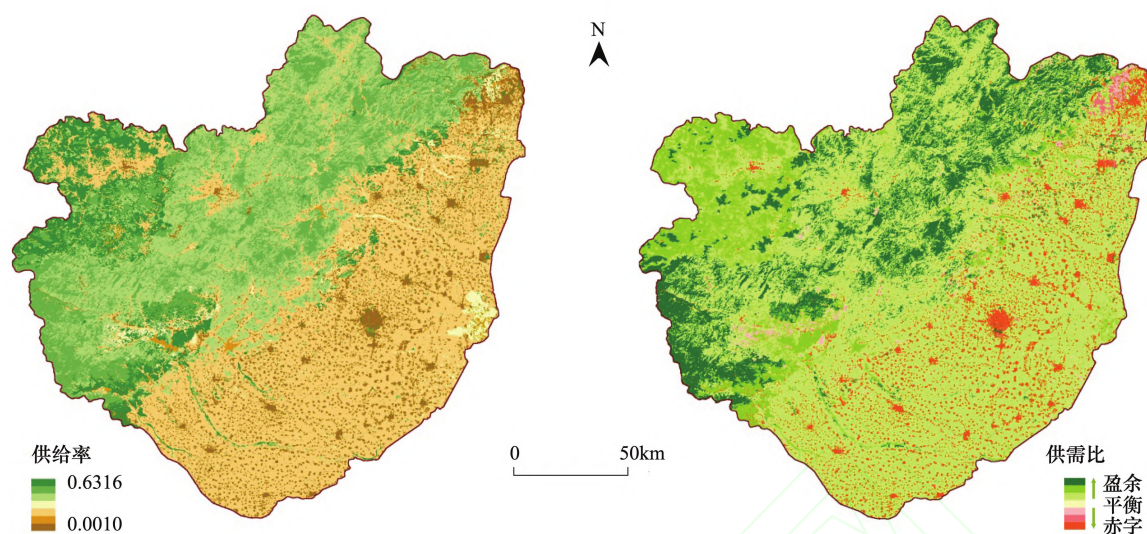


图3 白洋淀流域生态系统服务供需比(左)和供给率(右)空间分布

Fig.3 Spatial distribution of ecosystem service supply rate (right) and supply-demand ratio (left) in Baiyangdian River Basin

1131。生态系统服务的供给处于盈余状态,说明流域内生态系统提供的服务整体上能够满足其内部对生态系统服务的需求或消耗。而作为高度人工化的太湖流域,2010 年建设用地占流域总面积的 27.32%。太湖流域同期的生态系统服务供给率和供需比分别为:0.4223 和-0.1369^[5]。从供给率的对比来看,白洋淀流域生态系统的实际供给能力比太湖流域强;从供需比的对比来看,白洋淀流域内生态系统服务供需状况明显好于太湖流域。太湖流域的生态系统服务供给处于赤字状态,即其流域内的生态系统服务供给满足不了人类对生态系统服务的需求,需要外界不断的输入;或者太湖流域正在有偿或无偿地消耗外界其他区域的生态系统服务。从上述的对比可以看出,生态系统服务供给率和供需比两个指标可以有效的对比区域间生态系统服务的状况。

需要注意三点,第一:并不是流域内所有区域生态系统服务的供给都处于盈余,局部区域仍然呈现了明显的赤字特征(图3);第二:并不是所有生态系统服务类型的供给都处于盈余,从单个类型来看,水源涵养和水质净化等均是处于赤字状态,导致了白洋淀流域仍然存在如水资源缺乏、水质恶化等生态环境问题;第三:尽管水源涵养和水质净化处于赤字,但流域整体生态系统服务的供给是盈余,说明通过流域自身土地利用格局的优化,可以实现这些指标的“扭亏为盈”。具体管理做法有三个方面,第一:对流域内供给率较高及供给处于盈余的区域,予以重点保护,并作为生态补偿的主要区域,确保其生态系统服务的正常发挥;第二:对生态系统服务需求较大的区域进行必要的生态保护与生态恢复,例如城市区域内部;第三:构建水陆生态廊道。Bai 等^[20]以白洋淀流域为例,采用情景模拟的方法,权衡了流域经济发展与水源涵养、水质净化等服务的定量关系,得出沿河流两岸建立生态缓冲区,不仅能大大消减氮磷的入河量,也是成本效益最佳的土地利用格局优化方式。

5 结论

政府层面相继出台了多项生态系统服务相关的环保政策,如自然资源资本核算、生态保护红线划定、自然资源负债表编制等,使得生态系统服务的理念应用到管理实践尤为迫切。本研究首先针对生态系统服务领域概念混淆的问题,对生态系统服务的中间服务、最终服务、潜在供给、实际供给等概念进行了清晰的界定和说明,有利于对生态系统服务进行更加准确地评价,避免了生态系统服务重复计算的问题;在此基础上,引入生态系统服务供给率和供需比两个指标,有利于综合所有的生态系统服务类型实现区域内长时间序列和区域间对自然资源状况的对比。对生态系统服务供给和需求的研究,需要揭示生态系统服务产生、传递及消耗的

全过程,需要不同利益相关者的参与,研究成果有利于推动生态系统服务学科的理论研究,有助于促进生态系统服务理念从理论研究快速的走向管理实践,相关成果能更好地服务于国家生态文明建设战略。生态系统服务供给率和供需比两个指标简单易操作,建议作为重点考核指标,纳入地方自然资源资本核算体系、生态保护红线绩效考核、自然资源负债表清单或干部离任考核体系之中。

参考文献 (References):

- [1] Crossman N D, Burkhard B, Nedkov S, Willemen L, Petz K, Palomo I, Drakou E G, Martín-Lopez B, McPhearson T, Boyanova K, Alkemade R, Egoh B, Dunbar M, Maes J. A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 4-14.
- [2] Burkhard B, Crossman N, Nedkov S, Petz K, Alkemade R. Mapping and modelling ecosystem services for science, policy and practice. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 1-3.
- [3] Alkemade R, Burkhard B, Crossman N D, Nedkov S, Petz K. Quantifying ecosystem services and indicators for science, policy and practice. *Ecological Indicators*, 2014, 37: 161-162.
- [4] Honey-Rosés J, Pendleton L H. A demand driven research agenda for ecosystem services. *Ecosystem Services*, 2013, 5: 160-162.
- [5] Li J H, Jiang H W, Bai Y, Alatalo J M, Jiang H W, Liu G, Xu J. Indicators for spatial-temporal comparisons of ecosystem service status between regions: A case study of the Taihu River Basin, China. *Ecological Indicators*, 2016, 60: 1008-1016.
- [6] Hou Y, Burkhard B, Müller F. Uncertainties in landscape analysis and ecosystem service assessment. *Journal of Environmental Management*, 2013, 127(S1): S117-S131.
- [7] 肖玉, 谢高地, 鲁春霞, 徐洁. 基于供需关系的生态系统服务空间流动研究进展. *生态学报*, 2016, 36(10): 3096-3102.
- [8] Boyd J, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 2007, 63(2/3): 616-626.
- [9] Wolff S, Schulp C J E, Verburg P H. Mapping ecosystem services demand: A review of current research and future perspectives. *Ecological Indicators*, 2015, 55: 159-171.
- [10] Branco S, Videira N, Branco M, Paiva M R. A review of invasive alien species impacts on eucalypt stands and citrus orchards ecosystem services: Towards an integrated management approach. *Journal of Environmental Management*, 2015, 149: 17-26.
- [11] Alama M, Dupras J, Messier C. A framework towards a composite indicator for urban ecosystem services. *Ecological Indicators*, 2016, 60: 38-44.
- [12] 白杨, 黄宇驰, 王敏, 黄沈发, 沙晨燕, 阮俊杰. 我国生态文明建设及其评估体系研究进展. *生态学报*, 2011, 31(20): 6295-6304.
- [13] Burkhard B, Kandziora M, Hou Y, Müller F. Ecosystem service potentials, flows and demands-Concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landscape online*, 2014, 34: 1-32.
- [14] United States Environmental Protection Agency (US EPA). Valuing the Protection of Ecological Systems and Services: A Report of the EPA Science Advisory Board. EPA-SAB-09-012. Washington DC: United States Environmental Protection Agency, 2009.
- [15] The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. London: Earthscan, 2010.
- [16] Millennium Ecosystem Assessment (MA). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. 2nd ed. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [17] 江波, Christina P W, 欧阳志云. 湖泊生态服务受益者分析及生态生产函数构建. *生态学报*, 2016, 36(8): 2422-2430.
- [18] Müller F. Indicating ecosystem and landscape organisation. *Ecological Indicators*, 2005, 5(4): 280-294.
- [19] Curran S R, de Sherbinin A. Completing the picture: the challenges of bringing "consumption" into the population-environment equation. *Population and Environment*, 2004, 26(2): 107-131.
- [20] Bai Y, Zhuang C W, Ouyang Z Y, Zheng H, Jiang B. Spatial characteristics between biodiversity and ecosystem services in a human-dominated watershed. *Ecological Complexity*, 2011, 8(2): 177-183.