

生态系统服务研究:进展、局限和基本范式

谢高地 肖玉 鲁春霞

(中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘要 生态系统服务是生态学研究热点问题。该文首先从概念、分类、价值评估理论、评估案例等方面总结了目前国内外生态系统服务的研究现状。然后评述了目前生态系统服务研究存在的局限性,包括:评估结果的准确性问题、生态资产与生态系统服务的混淆、物理量评估方法的不确定性、价值量评估的不确定性以及生态系统功能与服务的复杂性。针对这些研究的局限,文章提出了生态系统服务研究的基本范式,包括:严格区分生态资产和生态系统服务、生态系统服务评估必须基于生态观测或生态模型以及区域生态系统服务评估应区分不同样元。最后,文章展望了今后生态系统服务研究的课题:生态系统服务与生态系统结构及生态过程的关联性和复杂关系的研究,人类干扰下生态系统服务的响应与反馈研究,生态系统服务变化对人类福利的影响研究,政策机制对生态系统服务的影响研究以及不同生态系统类型的各种生态服务价值研究等方面。

关键词 生态系统服务 进展 研究局限 框架 基本范式 发展趋势

STUDY ON ECOSYSTEM SERVICES: PROGRESS, LIMITATION AND BASIC PARADIGM

XIE Gao-Di XIAO Yu and LU Chun-Xia

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract The concept of ecosystem services was first used in 1960s in abroad and the terminology of "ecosystem services" appeared in 1981. Three classifications of ecosystem services included function classification, structure classification and description classification, in which function classification has been used widely. The relationship between ecosystem services and biodiversity was examined to understand the mechanism of formation and variation in ecosystem services. At present, many case studies have been conducted to obtain the economic values of ecosystem services at local, river basin, regional and national levels with three kinds of methods: economic method, emergy method and benefit transfer. In China, the concept of ecosystem services was introduced in 1990s and, since then, there have been many studies about ecosystem services which involves the introduction of abroad studies, forming and accumulating process of ecosystem services and case studies.

Because of limitations on the studies of ecosystem services, including the reliability of the evaluation results, confusion of ecological capital and ecosystem services, uncertainty of the quantity of ecosystem services, uncertainty of the monetary values of ecosystem services, and complexity of ecosystem functions and services. A new paradigm of ecosystem services should be set to strictly distinguish the ecosystem services from ecological capital, to evaluate the ecosystem services on the basis of ecological monitoring and ecological models, and to divide the region into different units in evaluation of regional ecosystem services. The researches on ecosystem services should pay more attention in the complex relationships between ecosystem services, structure and processes, the response and feedback of ecosystem services to human activities, the impacts of changes in ecosystem services on human well-being, the impacts of policies and institutions on ecosystem services, and the monetary values of ecosystem services from different kinds of ecosystems.

Key words Ecosystem services, Review, Limitation, Framework, Basic paradigm, Trends

自然生态系统作为地球生命支持系统,是人类赖以生存的基础。人类在开发和利用自然生态系统

过程中,只片面强调其市场价值或直接使用价值,忽略了自然生态系统所具有的其它生态效用或生态价

收稿日期: 2005-07-08 接受日期: 2005-11-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(30230090 和 30370258)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-333)

作者感谢亚利桑那州立大学的邬建国教授和“第三届现代生态学讲座”在本论文写作过程中给予的启发和建议。

E-mail: xiegd@igsrr.ac.cn

值,自然生态系统对人类社会的效用被低估(Costanza *et al.*, 1997),生态系统面临日益严重的压力。许多生态经济学家认为,生态系统服务研究能更好地解决自然资源在不同利用目的之间的分配,采用经济学的手段来干预人类对自然生态系统的开发和利用,可以有效地保护现有的自然生态系统(Daily, 1999; Costanza *et al.*, 1997)。因此,生态系统服务及其价值评估的研究逐渐成为生态学研究的一个热点。

1 国内外研究进展

1.1 国外研究进展

生态系统服务概念第一次在20世纪60年代使用(King, 1966; Helliwell, 1969)。20世纪70年代初,SCEP(Study of critical environmental problems)(1970)提出了生态系统的服务功能,并列出了自然生态系统的“环境服务功能”如:害虫控制、昆虫授粉、气候调节和物质循环等。Holdren和Ehrlich(1974)将其拓展为“全球环境服务功能”并在环境服务功能清单上增加了生态系统对土壤肥力和基因库的维持功能。随后Ehrlich等(1977)又提出了“全球生态系统公共服务功能”,后来逐渐演化出“自然服务功能”(Westman, 1977),最后由Ehrlich和Ehrlich(1981)将其确定为“生态系统服务”。

国外对生态系统服务的研究主要集中在以下方面:

生态系统服务分类:主要包括功能分类,如调节、承载、栖息、生产和信息服务(Daily, 1997, 1999; de Groot *et al.*, 2002);组织分类,如与某些物种相关的服务,或者与生物实体的组织相关的服务(Norberg, 1999);描述分类,如可更新资源物品、不可更新资源物品、生物服务、生物地化服务、信息服务以及社会和文化服务(Moberg & Folke, 1999)。其中功能分类是目前主要的分类方法,也更加便于生态系统服务评价工作的开展。Daily(1999)提出的生态系统服务分类是目前较有代表性的分类。Costanza等(1997)也从功能的角度提出了生态系统服务分类。目前一个较有影响的从功能角度提出的生态系统服务分类是由MA提出,将生态系统服务分为供给、调节、文化和支持服务(WGMEA, 2003)。该生态系统服务分类更为直观,同时该分类体系中不同类别的生态系统服务存在重叠现象。如O₂的产生既是调节服务,又被归为支持服务。

生态系统服务的形成及其变化机制:生态系统

是生态服务与功能形成和维持的物质基础。在生态系统服务形成和维持过程中,生物多样性通过它在管理生态系统属性和过程中所起的作用与生态系统服务产生密切联系(Costanza *et al.*, 1997; Daily, 1997; Naeem, 2001; Loreau *et al.*, 2001)。Tilman等(1997)根据草地生态系统小区试验研究发现,生态系统功能多样性及其组成对生态系统过程的影响比物种多样性更显著。多样系统中生物多样性微小的变化只会导致极小的生态系统功能和服务供给的改变(Jones *et al.*, 1994)。Loreau等(2001)认为某些最少数量的物种在稳定条件下对生态系统功能非常必要,以及较大数量的物种可能对维持变化环境中生态系统过程的稳定性非常必要。Luck等(2003)提出了服务供给单元,它是指在一定时间或空间尺度内提供或未来会提供的已经认识到的服务的单元,它的提出为生态系统服务形成和变化机制及其受损生态系统服务的恢复研究提供了一个全新的观点和方法。

生态系统服务价值化:由于生态系统功能和服务的多面性,生态系统服务具有多价值性。近十几年来,Pearce(1995)、McNeely等(1990)、Turner(1991)等的研究,奠定了生态系统服务价值分类理论研究的基础。联合国环境规划署(UNEP, 1993)的生物多样性价值划分、Barbier(2000)的环境经济价值分类、经济合作与发展组织(OECD, 1995)的环境资产的经济价值分类,都以上述分类为基础且基本相同。

生态系统服务的总经济价值包括使用价值和非使用价值两部分,使用价值包括直接使用价值(直接实物价值和直接服务价值)、间接使用价值(即生态功能价值),非使用价值包括遗产价值和存在价值,还有选择价值(即潜在使用价值)既可归为使用价值,也可归为非使用价值(Tietenberg, 1992)。

生态系统服务价值评价方法:目前主要采用经济学评价方法,能值评价法和效益转化法。其中生态系统服务的经济学评价方法根据价值评价技术的市场基础不同分为3类:市场基础评估技术、代理市场评估技术以及模拟市场评估技术(Chee, 2004)。能值评价法是在Odum的能值理论和系统生态学原理的基础上发展起来,其目的是试图将无法简单地用经济价值衡量的生态系统功能与过程,通过一定的转换,用一种便于比较的新的测度方式表示,也可称为能值核算。能值核算以生产非货币化和货币化资源、服务和商品的太阳能单位(称为太阳能值)来表示其价值(Odum & Odum, 2000)。效益转化法通

常定义为在一个地方(研究地)估计的经济价值通过市场为基础或非市场基础的经济评价技术转换到另外的地方(政策地)的方法(Brouwer, 2000; Barton, 2002)。效益转化是一个存在广泛争论的环境评价方法,它的有效性还没有得到证明(Brouwer, 2000)。这个非有效性的主要原因是物品和人口的特征在两个地方决不会严格的相同(Ruijgrok, 2001)。因此,要充分考虑生态系统的生物物理特征以及不同地区的经济变量,以获得更为准确的效益转化价值。

总之,目前国外有关生态系统服务及其价值评估的研究已经广泛开展,其研究主要特点是不同研究者采用了不同的研究角度。Daily 等主要从生态学基础的角度探讨生态系统服务及其价值, Costanza 等则更多从经济学的角度研究生态系统服务的经济价值,并探讨评价的方法与技术;Pimentel 等(1997)也估算了生态系统服务的价值,并与 Costanza 等的研究结果进行了对比;Turner 注重生态系统服务经济价值评估的技术与方法的研究;Naeem 则更关注生态系统服务变化的机制,特别是生物多样性与生态系统服务变化之间的相互作用。千年生态系统评估(MA)更加全面地关注生态系统服务概念、与人类福利之间关系、变化的驱动因子、评价的尺度、评价技术与方法、评价过程中的分析方法以及评价结果与最终的政策制定,并在全世界范围内广泛开展了案例研究。几乎所有的科学家都认为生态系统服务价值评价的最终目的是为决策者提供政策制定的依据,促进生态系统服务的可持续发挥。

1.2 国内研究进展

国内生态系统服务研究明显落后于国外。20世纪90年代以后,一些学者将生态系统服务的概念、内涵和价值评价方法介绍到国内,国内有关生态系统服务的研究随之有了较大发展。有关“生态系统服务”根据国外表述方法的不同而在国内有不同译法,其中“Ecosystem services”(Daily, 1997; Costanza *et al.*, 1997)译作“生态系统服务”(赵景柱等, 2000; 徐中民等, 2002);“生态系统服务功能”(欧阳志云和王如松, 1999; 谢高地等, 2001; 肖玉等, 2003)或者“生态服务功能”(石培礼等, 2002);而“Ecological services”(Farber *et al.*, 2002)译作“生态服务功能”(赵传燕等, 2002)。这几个名称在国内都有使用,其中目前国内使用最为广泛的是“生态系统服务功能”(欧阳志云和王如松, 1999; 谢高地等, 2001, 2003)。但是目前国外使用较为广泛的是“Ecosystem services”,因此我们认为,为与国际称法保持

一致,同时考虑到名词结构的合理性,“生态系统服务”译法可能更为恰当。

欧阳志云和王如松(1999)、辛琨和肖笃宁(2000)、谢高地等(2001)多位学者详细介绍了生态系统服务的定义、内涵和价值评估方法,并系统地分析生态系统服务的研究进展与发展趋势,探讨了生态系统服务及其与可持续发展研究的关系。张志强等(2003)继续探讨了生态系统服务核算方法,并详细介绍了条件价值法(Contingent value method)的理论基础和应用。赵景柱等(2000)则对生态系统服务的物质质量评价和价值量评价这两类方法进行比较。谢高地等(2001)指出全球生态系统服务价值评估的代表是基于全球静态总平衡输入输出模型的评估和基于全球静态部分平衡模型的评估。李双成等(2001, 2002)对生态系统服务价值评估的理论问题进行了进一步探讨,指出整个生态系统的功能和价值大于生态系统中的个体的功能和价值之和,提出了在生态系统服务价值评估过程中的自上而下、自下而上两种工作范式及其整合的模式,还对环境与生态系统生态服务空间流转和其价值异地实现的特性进行了研究。

在对生态系统服务及其价值评估理论进行研究的同时,众多学者对生态系统价值案例评估进行了尝试,表现在对区域(世界、国家、区域、城市等)生态系统服务经济价值的估算,对特定生态系统或者特定物种服务经济价值的估计,为进一步探讨生态系统服务形成和变化的机理提供了重要的基础资料(欧阳志云等, 1999; 张新时, 2000; 陈仲新和张新时, 2000; 徐中民等, 2002; 赵景柱等, 2003; 谢高地等, 2003; 肖玉等, 2004; Xiao *et al.*, 2005),也出现了生态系统服务形成和累积过程的研究(肖玉等, 2005a, 2005b)。

从20世纪90年代中期至今,生态系统服务研究在国内已逐渐发展起来。最初研究更多的集中在对国外生态系统服务概念、内涵、评估方法研究成果的介绍以及对生态系统服务理论的探讨。Costanza等(1997)有关全球生态系统服务经济价值的研究引起了国内众多学者的注意。众多专家和学者开始对全球、区域、城市以及单一生态系统(主要集中在森林生态系统)或者单个物种生态系统服务及其价值评估理论与方法进行积极探讨。总体而言,我国系统的研究起步较晚,研究经费支持力度小,取得的原创性成果不多。尽管如此,通过较多学者的努力,在生态系统服务领域的多方面都有所进展,对国家的

生态政策产生了重大影响。

2 研究的局限性

2.1 评估结果的准确性问题

目前,国内和国外生态系统服务物理量和价值量的评估都难以得出让公众和学术界普遍接受的结果,这反映了该领域研究方法还不成熟,需要继续完善。国内外对生态系统服务的评价大多是基于已有研究成果的价值评估,MA也只是基于已经获取的大量的相关信息与知识,在大尺度上进行生态系统服务及其与人类福利的评价,缺乏对生态系统结构与服务之间复杂关系以及生态过程与服务发挥与保育之间联系的科学解释,使人类对生态系统服务及其价值的合理厘定缺乏坚实的科学基础,从而影响了评估结果的科学性和应用价值。

2.2 将生态系统作为自然资本的价值和生态系统服务作为资本收益的价值相混淆

作为自然资本的生态系统,具有一切资本特征:有产权、有资本量、有交易、有市场价值以及比较成熟的评估方法。作为收益的生态系统服务,是特定时间段生态资产为人类福利带来的服务和产品。由于目前大部分服务还不具有市场,不能进行交易,所以其所具有的价值没有得到大多数人的认可。比如,特定范围的森林生态系统是一种自然资本,它属于某个人和团体,可以进行交易;而森林生态系统所具有的气体调节、涵养水源、净化空气等服务则是该自然资本的收益,由于这些服务缺乏市场,难以估算其对人类社会的价值。区分生态系统作为自然资本的价值和生态系统服务作为资本收益的价值,可以清楚地认识到二者的不同特性,有利于建立切实可行的生态系统服务价值评估框架和评估方法,使得生态系统为人类提供的产品和服务早日受到应有的重视。

2.3 物理量评估方法的不确定性

不同的生态系统所具有的生态系统服务的种类存在较大差距;分布在不同区域的同一种生态系统类型为人类提供的产品和服务也不尽相同。如,湖泊生态系统和农田生态系统的服务存在较大差距;而分布在坡地的森林生态系统提供防止水土流失的服务,分布在平地的森林这项服务并不能得到体现。对于同样的服务,不同研究者对其物质量的估算方法也存在差异。如营养物质循环,欧阳志云等(2004)采用土壤库持留法进行估算,而薛达元等(1999)则采取林分持留法估算。而有些服务,如生

物多样性维持、景观愉悦等,如何度量也是目前面临的一个问题。

2.4 价值量评估的不确定性

目前众多学者对有关自然生态系统是否有价值和价值形态如何等问题的看法不一,现有的观点包括有限资源价值论,价格决定价值论,使用价值决定论,自然价值、劳动价值双重论,天然资源无价值、已开发资源有价值论,三元价值论,服务价值论,主观价值论等等,特别是传统的自然资产无价论普遍盛行。可见关于自然资产的价值存在很多争议,作为自然资产收益的生态系统服务的价值就更加难以获得一致的认识。

虽然有的生态系统服务具有市场,能够进行交易,如初级产品,但是大部分生态系统服务的市场是发育不良的、扭曲的或完全空缺的。同时,人类难以对人类生命,环境的美学价值或长期的生态利益这类不可捉摸的事物进行估价。因此对生态系统服务进行估价肯定是非常困难而又充满不确定性。

此外,生态系统服务价值的实证方式是确定在一个人造生物圈中复制出这种服务需要付出的代价。由于用纯粹的非自然资本来代替自然资本是不可行的,零自然资本意味着零人类福利,从而导出自然资本对人类来说总价值为无限大。

2.5 生态系统功能与服务的复杂性

生态系统服务的复杂性和多样性:生态系统服务的基础是生态系统内部各种复杂的关系与化学反应的总和,生态系统提供的生态系统服务应该是非常复杂和多样的,一定还有很多生态系统服务还没有被认识到或揭示出来。生态系统提供的某种生态系统服务并非独立存在,而是与其它服务或功能有着密切的联系。对不同的生态系统而言,其所提供的生态系统服务类型的侧重方面不同,如森林的生态系统服务偏重于生物多样性维持,而农田生态系统提供的服务和产品偏重于食物和原材料生产,湿地生态系统偏重于废弃物净化等等,但大多数情况下,生态系统都能提供多种类型的生态系统服务。

生态系统服务实现的复杂性:生态系统服务的实现较为复杂,取决于当地的自然地理条件、社会经济状况以及宗教信仰等多种因素。例如,对于某些民族而言,特定的动物具有某些宗教象征意义,这些动物不能作为产品提供给人类,该项生态系统服务对于当地社会而言是无法实现的;在常年少雨的坡地上草地生态系统提供的防止水土侵蚀的服务也难以实现,它只是该生态系统具有的潜在的服务。由

此看来,生态系统服务的实现具有复杂性,应该将其区分为潜在生态系统服务和现实生态系统服务两种类型,否则难以恰当地度量这种生态服务的强度。

生态系统服务的无形性:除生态系统提供的产品之外,生态系统服务对人类社会的的作用几乎都是“无形”的,但是对人类社会产生着重要的影响。生态系统服务的“无形性”和人类的经济价值取向,使得人类为了索取“有形的”生态系统服务而破坏甚至毁灭一些“无形的”生态系统服务。

生态系统服务类型与生态系统功能的不对称性:生态系统服务和生态系统功能并不完全具有一一对应的关系。通常一种生态系统服务的形成需要多种生态系统功能的参与。生态系统功能与生态系统服务之间严重的不对称性为揭示生态系统服务形成的过程增加了困难。同时,这也揭示了问题本质:每一项生态系统服务的产生需要生态系统中多种功能的共同作用,每一项生态系统功能都与别的功能一起为人类提供多种生态服务。

生态系统服务的时间动态性:生态系统为人类提供的生态服务强度,随着时间而呈动态变化,这种动态变化一般与其生长曲线有密切的关联。这是因为生物体本身和环境因子都在随着时间而变化。在年周期范围内,生态系统服务时间上的动态性有如下特点:食物和原材料的生产是累积性的,它的曲线实际上是一个累积曲线;大气调节功能可以用呼吸或光合强度曲线来表示;养分循环功能可以用养分吸收或者养分累积曲线来表示;侵蚀控制服务应该主要取决于植被对土壤的覆盖叶面积指数曲线表示,但侵蚀控制服务的实现与获得,应该是有侵蚀条件发生的时候,如发生大的降雨时实现水蚀控制服务,发生大风时实现风蚀控制服务。总体而言,不同生态系统服务的时间动态性存在较大差别:在时间维上,有的是一次性实现,有的是多次性实现,有的是连续性实现,有的是离散性实现。生态系统服务强度曲线随生态系统本身和环境的变化而不断地变化。

生态系统服务的空间异质性:无论从宏观空间尺度还是微观的空间尺度,生态系统本身的多样性和环境条件的多样性决定了生态系统服务的类型和强度的空间差异性。通常情况下,这种空间差异性表现在如下几个方面:不同生态系统的空间差异性导致生态系统服务的空间差异性;同一生态系统在不同区域提供不同的生态服务,如一片草地,在牧区主要是提供饲料服务,如果它处于城市,则仅会提供

景观愉悦的服务;同一生态系统在不同条件下可以实现或不实现某项服务,实现不实现该项服务取决于某地是不是具备实现该项服务的条件,例如,一片植被,当它位于具有侵蚀条件的地方时,就在侵蚀发生条件具备时发挥防止侵蚀的服务,否则不发挥。

3 生态系统服务研究的基本范式

3.1 严格区分生态资产和生态系统服务

在生态系统服务评估领域,研究者将生态系统视为生态资产,这种生态资产具有资产的特征,其实物量和价值量的评估可采用现有一切成熟的资产评估理论和方法。同时,作为资产,生态资产具有产权属性、可交换属性等,生态资产的实物量有面积、生物量、蓄积量等指标来刻画,价值量则为在市场和非市场交换中,取得这种生态资产所有权的一次性交易价值(图1)。

在生态学领域,研究者更为关注的是生态系统服务,生态系统服务产生于生态系统的过程和功能。这种服务相等于资本在特定时间段为人们提供的利润和福利,这种服务量或实物量必须用生态意义非常明确的指标来描述,如提供的水源、释放的氧气、固定的 CO_2 等,其价值量则为人们消费这种服务所应付的价值。

3.2 生态系统服务评估必须基于生态观测或生态模型基础之上

生态系统服务评估结果的实物量和价值量备受质疑的根源,主要在于传统生态学未能详细而动态的测定出生态系统服务实物量流量的过程曲线。

设 s_t 为某一种生态系统服务在时间 t 时提供的生态系统服务流量,生态系统服务流量是时间的函数:

$$S_t = q(t) \quad (1)$$

在特定时间段特定规模的生态系统所提供的生态服务总量则应为该函数的积分:

$$S_T = C \int_{t=0}^T q(t) dt \quad (2)$$

式中, C 为该生态系统规模的物质量。

在此,以稻田生态系统 CH_4 和 N_2O 排放为例进行说明。稻田生态系统 CH_4 和 N_2O 日排放通量在不同生育期和不同施肥水平下呈现不同的变化特征(图2a, b)(肖玉, 2005)。在稻田生态系统 CH_4 和 N_2O 排放的流量曲线基础上估算其季节排放量将使计算结果更为准确,由此估算的稻田气体调节的经济价值将更为可信。可见,实际测定或在测定基础上构建生态系统服务强度的时间函数模型,是生态

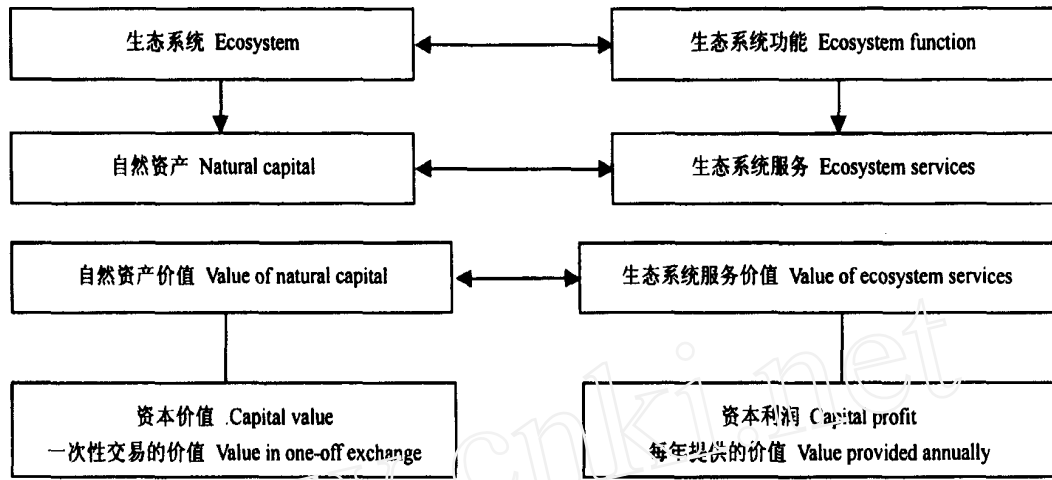


图1 生态系统服务与生态资产相互关系
Fig. 1 Relationship between ecological capital and ecosystem services

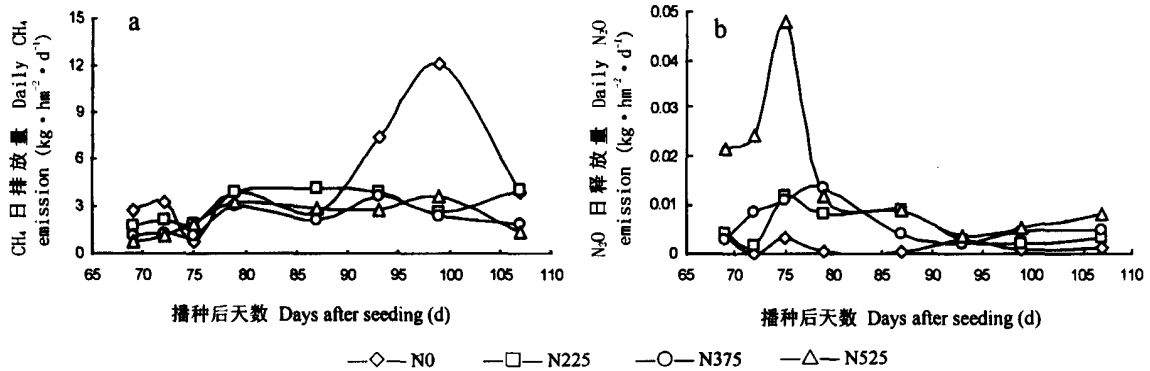


图2 稻田生态系统 CH₄(a) 和 N₂O(b) 排放流量变化

Fig. 2 Fluctuation of CH₄(a) and N₂O (b) flux by the rice paddy ecosystems

N0、N225、N375 和 N525 为实验处理水平, 尿素施用量分别为 0、225、375 和 525 kgN · hm⁻²。N0、N225、N375 和 N525 were experiment treatments. The urea application were 0, 225, 375 and 525 kgN 4m⁻², respectively

系统服务研究的核心内容,也只有如此,生态系统服务的结果才能真正让人们信服。

3.3 区域生态系统服务评估

一定区域生态系统服务可以从两个方面得到表征,即区域生态系统服务强度和一定时限内区域某种生态系统服务的总量。其基本思路是将区域划分为若干生态系统服务相同或相近的同质样元,然后计算出多个样元生态系统服务强度的时间函数和各样元相对于区域评价总体的权重,最后对各样元的生态系统服务强度与对应权重乘积求和,集合得到这个区域生态服务强度。

设某个区域可划分为 n 个同质样元,对于其中第 i 个样元,用 S_{ii} 表示其生态系统服务强度的时间函数, k_i 代表权重,则该样元的生态系统服务强度函数 (S_{ii}) 表达式为:

$$S_{ii} = k_i \cdot s_{ii} = k_i \cdot q_i(t) \tag{3}$$

对于权重 k_i ,可根据针对的生态系统服务类型特征,采用样元生态资产物质量相对于区域评价总体的生态资产物质量比例,(3)式成为:

$$S_{ii} = \frac{C_i}{C} \cdot q_i(t) \tag{4}$$

式中 C_i 代表第 i 个样元的生态资产规模, C 为评价区域生态资产的总体规模。

对于 $q_i(t)$,我们倾向于必须基于对该样元有代表性的生态观测数据或基于观测的生态模型。

于是区域生态系统服务强度为:

$$S_t = \sum_{i=1}^n k_i \cdot S_{ii} = \frac{1}{C} \cdot \sum_{i=1}^n (C_i \cdot q_i(t)) \tag{5}$$

时段 T 区域生态系统服务总量为:

$$S_T = \frac{1}{C} \int_{t=0}^T \sum_{i=1}^n (C_i \cdot q_i(t)) dt = \frac{1}{C_{i=1}} \int_{t=0}^T (C_i \cdot q_i$$

(t) dt

(6)

4 生态系统服务今后研究的课题

为了深入研究生态系统服务-结构-过程之间的复杂性与关联性,建立生态服务综合评价的理论与技术方法,研究人类社会经济活动胁迫下生态系统服务的响应机制,分析生态系统服务变化对人类福利的影响,揭示政策变化以及消费方式对生态系统服务维持与保育的长远效应,以下4个科学问题需要未来加以解决。

生态系统服务与生态系统结构及生态过程的关联性和复杂关系:生态系统结构和过程是生态系统服务供给的物质基础。传统生态学的研究内容不能满足对生态系统服务综合评估的需求,需要以生态系统服务为研究对象,以生态服务-生物/物理过程与功能-生态系统结构为主线,补充进行基础生态学的研究与观测,研究生态系统服务与生态系统结构之间的关联关系,分析生态过程与服务表现的动态变化与相互作用,揭示这些复杂过程之间的关联特征与定量关系。

人类干扰下生态系统服务的响应与反馈:人类从生态系统获得越来越多效益和福利的同时对生态系统的干扰强度越来越大。生态系统对人类干扰产生响应和反馈时,生态系统为人类社会提供的服务和产品也产生相应的变化。因此,今后生态系统服务研究的一个重点是研究人类活动胁迫下生态系统服务的响应与反馈特征,探究导致生态系统服务变化的系统结构与生态过程根源,建立生态系统服务需求-行动-压力-状态-响应的因果链,分析人类需求对生态系统服务产生影响的不同驱动作用。

生态系统服务变化对人类福利的影响:生态系统服务的强化或削弱将会导致以其为基础的人类社会福利的变化,特别需要研究生态系统服务的两种变化模式:大规模小尺度变化和小规模大尺度变化。衡量生态系统服务变化对人类福利的影响需要定量评价生态系统服务变化程度,并在此基础上估算其经济价值的变化。生态系统服务供给和人类福利实现的可分离性决定了生态系统服务可以在空间上转移,这也可能导致生态系统服务的不公平占用。研究生态系统服务的空间转移规律和规模,分析生态系统服务空间转移产生的生态公平问题,提出生态系统服务跨区域占用或不公平占用的补偿机制与补偿的定量评价方法也将是生态系统服务研究的一个重

要问题。

政策机制对生态系统服务的影响:国家或地方相关政策的实施(如西部大开发)、人们生活方式和价值取向(如对汽车和高级住宅的偏好)将会对生态系统服务产生重要的影响。所以,研究社会经济以及环境保护决策对生态系统服务产生的政策效应,研究我国现有生活方式及价值取向对生态系统结构及其服务产生的长远影响,可以有助于制定可持续消费的制度与政策法规,构建可持续的消费模式。

不同生态类型的各种生态服务价值:一般按生态类型进行服务价值评估,不同生态类型的各种生态服务价值均需进行深入研究,特别是农田生态系统,荒漠生态系统,冰川生态系统,森林生态系统,湿地生态系统。在此基础上,可以开展更为综合的陆地生态系统服务物质和价值量评估研究,为制定科学合理制定生态系统管理决策提供有用信息和数据基础。

参 考 文 献

- Barbier EB (2000). Valuing the environment as input: review of application to mangrove-fishery linkages. *Ecological Economics*, 35, 47 - 61.
- Barton DN (2002). The transferability of benefit transfer: contingent valuation of water quality improvements in Costa Rica. *Ecological Economics*, 42, 147 - 164.
- Brouwer R (2000). Environmental value transfer: state of the art and future prospects. *Ecological Economics*, 32, 137 - 152.
- Chee YE (2004). An ecological perspective on the valuation of ecosystem services. *Biological Conservation*, 120, 549 - 565.
- Chen ZX(陈仲新), Zhang XS(张新时) (2000). The economic value of ecosystem services in China. *Chinese Science Bulletin (科学通报)*, 45, 17 - 22. (in Chinese)
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Naeem S, Limburg K, Paruelo J, O'Neill RV, Raskin R, Sutton P, van den Belt M (1997). The value of the world's ecosystem services and nature. *Nature*, 387, 253 - 260.
- Daily GC (1997). *Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington DC.
- Daily GC (1999). Developing a scientific basis for managing Earth's life support systems. *Conservation Ecology*, 3, 14. URL: <http://www.consecol.org/vol3/iss2/art14/>
- de Groot RS, Wilson MA, Boumans RMJ (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393 - 408.
- Ehrlich PR, Ehrlich AH (1981). *Extinction: the Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House, New York.

- Ehrlich PR, Ehrlich AH, Holdren JP (1977). *Ecoscience: Population, Resources, Environment*. Freeman and Co., San Francisco.
- Farber SC, Costanza R, Wilson MA (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics*, 41, 375 - 392.
- Helliwell DR (1969). Valuation of wildlife resources. *Regional Studies*, 3, 41 - 49.
- Holdren JP, Ehrlich PR (1974). Human population and the global environment. *American Scientist*, 62, 282 - 292.
- Jones CG, Lawton JH, Shachak M (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69, 373 - 386.
- King RT (1966). Wildlife and Man. *NY Conservationist*, 20, 8 - 11.
- Li SC(李双成), Zheng D(郑度), Yang QY(杨勤业) (2001). Some issues on assessing natural capital of environment and ecosystems. *Environmental Sciences (环境科学)*, 22(6), 103 - 107. (in Chinese with English abstract)
- Li SC(李双成), Zheng D(郑度), Zhang YL(张镡铤) (2002). Regional evaluating paradigm for ecological services of environment and ecosystems. *Scientia Geographica Sinica (地理科学)*, 22, 270 - 275. (in Chinese with English abstract)
- Loreau M, Naeem S, Inchausti P, Bengtsson J, Grime JP, Hector A, Hooper DU, Huston MA, Raffaelli D, Schmid B, Tilman D, Wardle DA (2001). Biodiversity and ecosystem: functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 294, 804 - 808.
- Luck GW, Daily GC, Ehrlich PR (2003). Population diversity and ecosystem services. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 331 - 336.
- McNeely JA, Miller KR, Reid WV, Mittermeier R, Werner TB (1990). *Conserving the World's Biological Diversity*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, World Resources Institute, Conservation International, World Wildlife Fund US and the World Bank, Gland, Switzerland and Washington, DC.
- Moberg F, Folke C (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29, 215 - 233.
- Naeem S (2001). How changes in biodiversity may affect the provision of ecosystem services. In: Hollowell VC ed. *Managing Human Dominated Ecosystems*. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, 3 - 33.
- Norberg J (1999). Linking nature's services to ecosystems: some general ecological concepts. *Ecological Economics*, 29, 183 - 202.
- Odum HT, Odum EP (2000). The energetic basis for valuation of ecosystem services. *Ecosystems*, 3, 21 - 23.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (1995). *The Economic Appraisal of Environmental Projects and Policies: A Practical Guide*. OECD, Paris.
- Ouyang ZY(欧阳志云), Wang RS(王如松) (1999). Ecosystem services and their economic valuation. *World Science-Technology Research & Development (世界科技研究与发展)*, 22(5), 45 - 50. (in Chinese with English abstract)
- Ouyang ZY(欧阳志云), Wang XK(王效科), Miao H(苗鸿) (1999). A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 19, 607 - 613. (in Chinese with English abstract)
- Ouyang ZY(欧阳志云), Zhao TQ(赵同谦), Zhao JZ(赵景柱), Xiao H(肖寒), Wang XK(王效科) (2004). Ecological regulation services of Hainan Island ecosystem and their valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 15, 1395 - 1402. (in Chinese with English abstract)
- Pearce DW (1995). *Blueprint 4: Capturing Global Environmental Value*. Earthscan, London.
- Pimentel DW, Wilson C, McCullum C, Huang R, Dwen P, Flack J, Tran Q, Saltman T, Cliff B (1997). Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience*, 47, 747 - 757.
- Ruijgrok ECM (2001). Transferring economic values on the basis of an ecological classification of nature. *Ecological Economics*, 39, 399 - 408.
- SCEP (Study of Critical Environmental Problems) (1970). *Man's Impact on the Global Environment: Assessment and Recommendations for Action*. MIT Press, Cambridge MA.
- Shi PL(石培礼), Li WH(李文华), He WM(何维明), Xie GD(谢高地) (2002). Economic estimation of ecosystem services of natural forests in Western Sichuan, China. *Journal of Mountain Science (山地学报)*, 20, 75 - 79. (in Chinese with English abstract)
- Tietenberg T (1992). *Environmental and Natural Resource Economics*. Harpers Collins Publishers, New York, USA.
- Tilman D, Knops J, Wedin D, Reich P, Ritchie M, Siemann E (1997). The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, 277, 1300 - 1302.
- Turner K (1991). Economics and wetland management. *Ambio*, 20, 59 - 61.
- UNEP(United Nations Environment Programme) (1993). *Guidelines for Country Study on Biological Diversity*. Oxford University Press, Oxford.
- Westman WE (1977). How much are nature's service worth? *Science*, 197, 960 - 964.
- WGMEA (Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment) (2003). *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Island Press, Washington, Covelo, London.
- Xiao Y(肖玉) (2005). *Study on the Ecosystem Services by the Rice Paddies in China and their Monetary Value (中国稻田生态系统服务功能及其经济价值研究)*. Ph. D. dissertation of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 50 - 66. (in Chinese with English abstract)
- Xiao Y(肖玉), Xie GD(谢高地), An K(安凯) (2003). Economic value of ecosystem services in Mangcuo Lake drainage

- basin. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 14, 676 - 680. (in Chinese with English abstract)
- Xiao Y(肖玉), Xie GD(谢高地), Lu CX(鲁春霞), Ding XZ(丁贤忠), Lü Y(吕耀) (2004). The gas regulation function of rice paddy ecosystems and its value. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 19, 617 - 623. (in Chinese with English abstract)
- Xiao Y(肖玉), Xie GD(谢高地), Lu CX(鲁春霞), Ding XZ(丁贤忠), Lü Y(吕耀) (2005a). The impact of urea amendments on atmospheric gas regulation services in rice paddy ecosystems and their valuation. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 29, 577 - 583. (in Chinese with English abstract)
- Xiao Y(肖玉), Xie GD(谢高地), Lu CX(鲁春霞), Lü Y(吕耀), Ding XZ(丁贤忠) (2005b). Process of nitrogen uptake by rice paddy ecosystem and its economic value. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 24, 1068 - 1073. (in Chinese with English abstract)
- Xiao Y, Xie GD, Lu CX, Ding XZ, Lü Y (2005). The value of gas exchange as a service in rice paddies in suburban Shanghai, P. R. China. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 109, 273 - 283.
- Xie GD(谢高地), Lu CX(鲁春霞), Cheng SK(成升魁) (2001). Progress in evaluating the global ecosystem services. *Resources Science* (资源科学), 23(6), 5 - 9. (in Chinese with English abstract)
- Xie GD(谢高地), Lu CX(鲁春霞), Leng YF(冷允法), Zheng D(郑度), Li SC(李双成) (2003). Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 18, 189 - 196. (in Chinese with English abstract)
- Xin K(辛琨), Xiao DN(肖笃宁) (2000). Brief account of ecosystem service study. *China Population, Resources and Environment* (中国人口 资源与环境), 10(3), 20 - 22. (in Chinese with English abstract)
- Xu ZM(徐中民), Zhang ZQ(张志强), Cheng GD(程国栋), Su ZY(苏志勇), Lu AX(鲁安新), Lin Q(林清), Zhang HT(张海涛) (2002). Measuring the total economic value of restoring Ejina Banner's ecosystem services. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 57, 107 - 116. (in Chinese with English abstract)
- Xue DY(薛达元), Bao HS(包浩生), Li WH(李文华) (1999). A study on tourism value of biodiversity in Changbaishan Mountain biosphere reserve (CMBR) in Northeast China. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 14, 140 - 145. (in Chinese with English abstract)
- Zhang XS(张新时) (2000). Eco-economic functions of the grassland and its patterns. *Science & Technology Review* (科技导报), 146, 3 - 7. (in Chinese)
- Zhang ZQ(张志强), Xu ZM(徐中民), Cheng GD(程国栋) (2003). The updated development and application of contingent valuation method (CVM). *Advance in Earth Sciences* (地球科学进展), 18, 454 - 463. (in Chinese with English abstract)
- Zhao CY(赵传燕), Feng ZD(冯兆东), Liu Y(刘勇) (2002). Analysis of ecological service of forest ecosystem in Qilian Mountain. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 16(1), 66 - 70. (in Chinese with English abstract)
- Zhao JZ(赵景柱), Xiao H(肖寒), Wu G(吴刚) (2000). Comparison analysis on physical and value assessment methods for ecosystems services. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 11, 290 - 292. (in Chinese with English abstract)
- Zhao JZ(赵景柱), Xu Y(徐亚骏), Xiao H(肖寒), Zhao TQ(赵同谦), Duan GM(段光明) (2003). Ecosystem services evaluation based on comprehensive national power for sustainable development-the evaluations on 13 countries. *System Engineering Theory and Practice* (系统工程理论与实践), (1), 121 - 127. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 马克平 责任编辑: 张丽赫