诠释自然效益
生态系统服务的价值

作者David C. Holzman，1975年在加利福尼亚大学伯克利分校的冬季学期选修了由现任总统科学顾问John P. Holdren讲授的“全球环境问题的定量分析”（Quantitative Aspects of Global Environmental Problems）课程，在课堂上，他首次听说了生态系统服务这一概念。是Holzman已故的启蒙导师，研究能源问题的专家Lee Schipper，向他推荐了这门课。

健康的生态系统能为我们提供肥沃的土壤、洁净的水源、木材以及食物。它们可以减少疾病的传播，可以抵御洪水，它们调节了全球范围内大气中氧气和二氧化碳的浓度，可使气候变得温和。如果没有了这些以及其它的“生态系统服务”，我们将会灭亡。

人类文明史的一个重要标志是对生态系统服务不断地开采，并使用科技手段取代了这些服务，尤其是在那些生态系统被过度开采以至于超过了它们承受能力的地方。农业是开采和取代的结合产物，它使得人们能生活在一个更庞大、更密集的环境中，这导致了进一步的开采和取代。现代的排水管道系统大大降低了狭窄而拥挤的生活环境所带来的毒害，但却破坏了生态系统处理污水的能力，从而不得不使用昂贵的污水处理技术来替代。石化燃料的开采给现代化工业也带来了很多便利，例如，捕捞船队可以高效地捕捉到他们的猎物，但正是这种过度捕捞威胁到了全球的渔业。所有这些开采都耗竭了生态系统资源，但是在过去，当人口数只有现在的一小部分时，这些负担和消耗只是局部而非全球现象。

2005年，联合国赞助开展了一项名为“千年生态系统评估（Millennium Ecosystem Assessment, MA）”的大规模调查，结果发现，在被调查的24个生态系统中，大约有60%正在退化或被非持续性利用。“每年我们都会损失价值3到5万亿（兆）美元的自然资本，大致相当于我们在2008~2009年金融危机期间所损失的资金总额”，荷兰瓦赫宁根大学（Wageningen University）综合生态系统评估和管理研究项目（Research Program on Integrated Ecosystem Assessment and Management）负责人Dolf de Groot说道。

特别是在商业和政策决定以及市场价值中，生态系统服务的价值是无法估量的。从商业的角度，倘若要认可生态系统服务，它们只会被视为免费物品，如洁净的空气和水源。因此，正如一个由美国科学家和工程师组成的独立团体“总统科技顾问委员会（President's Council of Advisors on Science and Technology, PCAST）”所描述的，大部分生态系统的退化是根源于“广泛低估了环境资本对人类幸福的重要性以及...生产和消费者的经济资产负债表中对其服务价值认识的缺乏。”PCAST和其它团体正在努力建立人们对生态系统服务的认识，并且，更重要的是，重视它们——也就是计算这些服务的价值，从而帮助决策者和资源管理者们作出合理的决定，将重要的环境和人类健康结局纳入最终评价指标。

一个创新理念的时代已经到来?

2011年7月，PCAST呼吁联邦政府对美国生态系统以及其所提供服务的社会经济价值作4年一次的评估。目标是改善对那些服务的评价方法，并建立一项生态信息学法案，从而将现有的知识结合起来，并搜集新的信息，使得对此感兴趣的组织能够方便地应用这些信息。

不过，重视生态系统服务并不是一个新兴的概念。早在19世纪70年代，John P. Holdren，现任总统奥巴马的科学顾问，就曾在加利福尼亚大学伯克利分校将“全球环境问题的定量分析（Quantitative Aspects of Global Environmental Problems）”引入其课堂。他强调用科技手段替代生态系统服务是高成本的，有时有些不切实际。而且，如果不能完全理解替代方法的功能，会导致这些方法不能实现。普遍认为，通过地质工程学来缓解

Michael S. Klein/Stock Illustration Source

我们所面临的全球气候问题，如排放量增加等，风险是非常高的，因为气候变化是一个相当复杂的问题。

1997年，俄勒冈州波特兰州立大学（Portland State University, Oregon）致力于可持续性研究的杰出教授Robert Costanza及其同事们首次对全球的生态系统服务作出了评估，他们认为，这些服务每年的平均价值为33万亿美元（相当于今天的44万亿美元），几乎是当时全球国民生产总值（GNP）18万亿美元（相当于现在的24万亿美元）的两倍。美国环境保护署（EPA）生态系统服务研究项目（Ecosystem Services Research Program）的国家项目主任Rick Linthurst说道，尽管33万亿美元的价值很难被证实，但是该研究对生态系统服务价值的关注是值得赞扬的。

为保护生态系统服务的支付至少可追溯到19世纪80年代早期，那时美国实行了湿地和溪流银行信贷措施，但这一理念真正开始是在90年代中期。例如在1996年，哥斯达黎加开始向土地所有者支付每年每公顷土地42美元的费用，以用于保护森林。当时，那个国家（哥斯达黎加）是世界上森林砍伐率最高的国家；而现在，其砍伐率是最低的，斯坦福大学环境科学系Bing教授Gretchen C. Daily说道。

中国通过采取对生态系统服务的各项支付，以及对提供生态系统服务的重要地区实行保护政策，有效应对了1997年灾难性的干旱和随后1998年的特大洪水。这些地区被称为生态系统功能保护区。密歇根州立大学（Michigan State University）蕾切尔·卡森的现任讲席教授 （Rachel Carson Chair in Sustainability，这是为纪念Rachel Carson特设的一个职位，专攻可持续性问题。编者注）、渔业和野生动物学杰出教授刘建国表示，由此所获得的收益有：在2000年至2007年期间，水土流失大大减少，从而使黄河中的沉积物减少了38%。1998年到2010年间，估计碳回收量增加了13亿吨。但是他指出，有些利益的获得可能是以其它地区自然资本的损失为代价的，因为森林砍伐的减少必将伴随着木材进口量的增加。

2010年，世界银行开展了一项帮助各国将生态系统服务价值融入其会计系统的项目，以期通过对生态系统的管理使经济利益得到最大化。多年受到持续破坏性大雨困扰的哥伦比亚，是和世界银行合作的5个试点国家之一。

另外，挪威为保护热带雨林的碳储存和碳回收而支付给印度尼西亚10亿美元，以限制气候变化的影响。越南投资了110万美元用于种植和保护红树林，其目的在于保护沿海地区免受洪水灾害，此举节省了每年用于维护堤坝的730万美元。

一些美国联邦政府机构也正在对生态系统服务进行研究。美国环境保护署正在汇编国家地图集，它可像谷歌地图(Google Earth)那样，以视觉形式展现生态和经济分析的信息，从而显示出生态系统服务供应的变化。该机构还在美国的四个地区开展了试点项目，使有关各方能够设想各种未来的资源利用情景，以指引决策者在当下作出决定。

2007年，来自8国集团及5个新兴经济体(G8+5)的环境部长同意开始分析从全球生态系统和生物多样性中得到的经济利益，并比较由于对这些资源的保护不利所产生的费用和对其进行有效保护所产生的费用。在随后的几年中，由这一决定而启动的生态系统和生物多样性经济学（The Economics of Ecosystems and Biodiversity, TEEB）研究，在国际、国家和地区层面上为决策者们做出了一系列报告，旨在作出务实的应对。

在生态系统服务支付方面对决策者有指引作用的另一个标志性项目是2006年成立的自然基金项目（Natural Capital Project， NatCap），斯坦福大学的Daily教授是创始人之一。 NatCap开发了环境服务和交易综合评估（Integrated

何为生态系统服务?

生态系统服务具有高度的相互依赖性，且通常具有重叠性。这些服务可归为4种典型类型：供应性、调节性、支持性和文化性。

它就好比工厂，**供应性服务**可维持天然产品的供应：食物、木材、燃料、纺织品的纤维、水、土壤、医用植物及其它。

调节性服务可保持自然界中各种元素的平稳运行。它们过滤污染物以维持空气和水源质量，调节气候，隔绝和储存碳，回收利用废弃物和死亡的有机物，并可作为控制农业害虫和疾病媒介的天然防御屏障。

支持性服务被认为是维持供应性和调节性服务的服务种类。这些服务包括土壤形成、光合作用以及提供栖息地。健康的栖息地应既保留物种多样性和遗传多样性，这是供应性和调节性服务的重要支柱。

最后，**文化性服务**被定义为与自然接触的无形收益——从具有重要文化价值或娱乐性的活动（诸如徒步旅行、赏鸟、钓鱼、打猎、漂流、园艺甚至是游览风景秀丽的道路）中获得的美学、精神和心理上的收益。这些服务正越来越多地和有形的健康效益相关联，特别是那些和减压有关的效益。

Illustration: © 2012 Alex Nabaum c/o theispot.com

Valuation of Environmental Services and Tradeoffs, InVEST）软件，模拟环境、经济和社会效益间的交易转换，由此决策者们能够考察其它土地利用情况的影响。对任意给出的地块，InVEST都能将现有的数据应用于不同的生态系统服务中——其中任意一项都可被归入一个不同领域的研究——为评估它们提供一个持久的平台，以决定如何最有效地利用那块土地，NatCap首席科学家Heather Tallis说道。例如，“交易曲线”可显示出，在造成水力发电、洪水灾害或生物多样性减少等重大利益损失之前，能收获多少木材。这些软件和工具可通过NatCap网站免费获得。

NatCap的咨询团队目前正与美国以及来自非洲、拉丁美洲、太平洋地区、北美洲和亚洲的15个国家进行许多项目的合作。在这些国家中居于首位的是中国，中国在禁止采伐来保护林地、收购陡坡高处无法维持的农场从而退耕还林或将其恢复为湿地等方面的总花费大约为1千亿美元——比其它任何国家都要高。Daily称，中国政府计划把农民迁移到可更具持久性发展的地区，或为其安排其它工作。NatCap正利用InVEST软件来评估某一地区现有资源条件能支持多少资源密集型的生产方式——在农业、林业、畜牧业以及其它领域——进行可持续发展，并由此评估居民的迁移将在何种程度上影响自然资本和生态系统服务。这不仅有助于确定迁居将使谁受益，使谁受损，明确适当的补偿，而且有助于运用必要的投资达到所期望的转变，Daily说道。

评估货币价值

原则上，生态系统服务的价值需通过其所能提供的人类福利来衡量。最简便的衡量福利的方法就是货币，尽管在科学发展的早期阶段，这并不总是一个切合实际的衡量方法。

服务供应的价值［见附文“何为生态系统服务？”］相对较易确定。最简便、争议最小的方法是评估市场现存价格的价值，世界野生动物基金会(World Wildlife Fund)美国事务处的NatCap经理Emily McKenzie说道。例如，沿海和海洋生态系统支持着鱼类产品。该项服务的价值可通过税收、价格功能和鱼的产量进行评估。

这样，服务供应的价值就相当于其所有当前以及未来产品在今天的价值——经济学上称为“现值”。未来产量越高，服务的现值就越低。那是因为今天以一种安全的投资方式，如短期国债，进行投资，基本上一定会增长。如果短期国债的利率是3%，那么今天投资100美元的话，一年后的收益就是103美元，两年后将达到106.09美元，并以此类推。那就意味着两年后106.09美元的价值不会超过今天100美元的价值。

许多生态系统服务，诸如景观、娱乐以及大多数调节性服务，包括缓解传染病的传播，都缺乏一个市场价值。解决该问题的一种方法是询问民众，他们愿意为某一服务付出什么，明

量化生态系统失调对传染病的影响

生态系统服务可影响人类健康，这一理念已被提出相当长的时间了，位于纽约米尔布鲁克的卡里生态系统研究所（Cary Institute of Ecosystem Studies）的疾病生态学家Rick Ostfeld说道。直到最近，研究者们才开始调查研究生态系统具有减缓传染病的服务功能这一假设。

越来越多的证据表明——有些是实验性的证据，而有些是相关性的证据——生物多样性的减少会加速疾病的传播，而“保护生态系统完整性和该地区特有的生物多样性将普遍降低传染病的发生”，这是Ostfelt及其同事们在最近一篇刊登在《自然》杂志上有关这一话题的综述中写道的。当生态系统被简化或破坏，正如人类发展过程中所习惯的那样，通常会使得更高效的媒介和传染病的野生动物宿主大量增殖——主要分别为节肢动物和啮齿类动物——在一定程度上，可通过减少捕食者来遏制这些生物。

疾病最高效的自然宿主“往往是杂草，这一恢复能力极强的物种，具有‘活得快、死得早’的生存习性，”Ostfeld称，“当我们干扰或使得生态系统退化时，它们往往是能存活下来的物种。”他还解释说，以自然宿主为食的捕食者往往更为敏感，而且当生态系统被扰乱时，它们通常是最先消失的。

有直接的证据支持生物多样性和传染病之间存在负相关。比如，在南美洲，将森林转化为谷类生产地会增加啮齿类动物的数量，从而加速病毒性出血热的传播，哈佛大学公共卫生学院环境卫生系的研究科学家Samuel Myers说道。已有研究发现，堤坝、灌溉系统以及森林砍伐和疟疾及血吸虫病发病率的增加之间存在关联，腹泻和道路建设有关，而登革热则和城市化相关联。“对自然系统变化和健康结局关联的研究结果，同实际量化系统递增变化得出的特定健康效应或成本，两者之间仍存在很大差异。”威斯康辛-麦迪逊大学的Myers和其同事Jonathan Patz在2009年版的《环境和资源年度综述》（*Annual Review of Environment and Resources*）中写道。

尼苏达大学（University of Minnesota）生态/环境经济学的Fesler-Lampett教授Stephen Polasky说道。这被称为“指定性偏好”。另一种方法是，“显示性偏好”，是指确定来自相对实际的购买价值，比如人们愿意花钱去有田园风光的地方旅游，或者宁愿花额外的钱去买一间拥有水景的房屋，而不买在附近相类似但没有景观的房屋。

另一估价技术是评估“重置成本”。这是重建一个生态系统服务所需的最低技术修复成本。例如，纽约市近来因集水区支付给土地拥有者们超过10亿美元，以改变他们的农场管理规范，防止动物粪便和化肥被冲入排水沟。通过这一举措，该市避免了花费60～80亿美元建立一套全新水过滤设备以及每年3～5亿的运行费用——这是由水渠提供的天然过滤设备的重置成本。Polasky称，“可以说保护集水区［以及其所提供的生态系统服务］至少价值60～80亿美元，因为这是重置该项服务的成本”，他还表明洁净水源的价值还要高得多。

生态系统服务的价值取决于本地和/或区域的社会经济条件以及供给和需求情况。因此，纽约市集水区清洁水的价值比阿拉斯加的就要高很多，因为该集水区给1900万人提供了饮用水，Polasky说道。

当衡量生态系统服务的价值时，经济学是比较简单的部分，所谓的简单只是相对而言。评估的主要困难是生态学还是一门相对较年轻的科学，而且我们对其的理解还很不足，Polasky说道。他的同行对此也深有同感，“自然可能是我们所知晓的系统中最复杂的一个”，Daily解释道。

巨大误差和大胆假设

Polasky称，一般而言，问题一方面在于生态系统实现过程中出现的许多不确定性，这些不确定性累积形成了“巨大误差”。货币价值通常以“大胆假设”为基础，而并非立足于大量数据，马里兰大学环境科学中心副教授Lisa Wainger说道。

例如，对许多生态系统服务成果的科学理解仍然不足——举例说，“如果土地中碳含量升高，植物能够更好地吸收氮吗？”Polasky问道。大量生态学不确定性源于缺乏基础自然史的信息。PCAST报告表明，“生物群可能是生态范畴中最重要的群体，比如决定土地生产力、促进营养循环或消耗废弃物的物种...是最不熟悉且最不可见的——如真菌、线虫、螨虫、昆虫和细菌。大多数在生态学上占主导地位的海洋生物体都是无脊椎动物或微生物，我们对其也是知之甚少。”

气候变化加大了所有这些生态学的不确定性。“它是所有外在效应的源头”，萨塞克斯大学（University of Sussex）经济学教授Richard S.J. Tol写道，“它比任何其它环境的问题都要更大、更复杂且更不确定。”根据PCAST报告，在本世纪接下来的时间中，全球气候变化很可能将成为改变生态系统的最大推手，并大幅降低地球承载能力。

将生态系统服务的改变与人类的福祉连接起来仍然是一大难题。“将何类物种归入何种生态系统动力学或何种人

一项复杂的任务

科学是生态系统服务的基础，而这一科学是繁琐的。佛蒙特大学（University of Vermont）冈德生态经济研究所（Gund Institute for Ecological Economics）的主任Taylor Ricketts测量了位于哥斯达黎加的咖啡种植园内，作为传粉者的蜜蜂的繁殖能力。蜜蜂生活在种植园附近的森林中。通过一系列严格控制的漫长实验，他发现生长在森林1公里范围内的咖啡树被完全授粉，而在森林1公里以外的咖啡树没有被完全授粉，咖啡豆产量减少20%。利用所得结果，Ricketts计算得出，两个森林区每年可为一个咖啡农场贡献价值62000美元的授粉服务。他估计，如果那些森林被破坏了，那个农场的生产量将损失7%。那么，目前每年62000美元的价值就是那些森林区所提供的服务价值。

然而，授粉只是森林具备的众多生态系统服务中的一个，其它还包括碳回收、生物多样性支持和水源净化，仅举几例说明，Ricketts解释道。在生态系统服务评估这一学科发展的早期阶段，要明确一项以上或几项服务的价值通常是不切实际的。确定一个生态系统所有服务的价值比较困难，主要在于对每项服务而言，获取其所需信息的方法都各不相同。

在某些情况下，研究需要耗费很长时间，或面临很多困难。例如，Ricketts的授粉研究需要以森林为中心，选择3个距离不同的地点，在其中每个地点取5棵相似的树木，比较这5棵树的咖啡产量，在每个地点对一些树枝进行人工授粉以模拟最大量的授粉活动后，允许蜜蜂在其它花上开始工作，且遮盖一些花来模拟无授粉。测量一个森林净化水源的能力，涉及到贯穿该森林的某条溪流在流经某污染源后，确定其纯净度，这需要通过在规定距离分析污染物浓度以判断其浓度下降的速率。分析生物多样性，包括对某一地块上的所有植物、动物和无脊椎动物进行普查。Ricketts说，就如此众多的服务而言，对某一片区的生态系统服务进行彻底地测定可能就要涉及到20个不同的研究。

类利益，在这一方面还存在许多难解的问题，”Daily说。“我们确实不知道生物多样性需达到何种程度才能维持和满足人类生活的需求。”

根据PCAST报告得出的结论，那些轻而易举就能获得的精确生态系统服务的经济价值信息，“往往无法让我们深入了解某种形式或程度的生态系统干扰所带来的损失程度”。生态系统功能也存在阈值，如果超过该阈值，那么其承载能力将会崩塌。在历史上和史前，打破阈值的现象比比皆是，从肥沃月湾(Fertile Crescent)退化成今天沙漠化的中东（Daily称，这也许是由于灌溉管理不善所导致的），从森林砍伐，所有野生陆禽的灭绝到复活节岛（Easter Island）上人口的锐减。气候变化的影响所带来的最大恐惧是全球阈值将被打破，但是目前的生态学并不能通过任何接近精确的方法来预测这一阈值。

进展

尽管存在挑战，但是在过去的十年中，我们在提升将生态系统服务变化和人类福祉变化相连接的技术方面获得了很大进展。这一提升一方面表现在建模方法上，包括InVEST以及大量的生态学研究。另一方面是由于数据的改进，Polasky总结道。地理信息系统（GIS）技术以及被称为空间精确数据的革命，已使得该领域得到了进一步的推进：“如今，我们拥有优质的图像，让我们能够知道植物的高度，对地形进行评估。灵敏的传感器向我们展示了地面上的事物，”Polasky说道。“你可以将其和监控系统相结合。如果上游的森林砍伐增加了，我们可以监测下游的沉积物。这是一个相当大的帮助。”

健康和生态系统：关联分析（Health & Ecosystems: Analysis of Linkages, HEAL），是一个集合了25家环保和公共卫生机构的联盟，该组织首次试图用严谨、系统的方法测量在各种自然体系变化中的人类健康影响。HEAL所设立的项目是为了评估环境和健康之间的重要关系。例如，有的项目研究了野生动物对于以捕猎为生的猎人们的持续可及性以及猎手后代的营养需求（特别是铁和主要微量营养素缺乏）之间的关联；有项目研究了群岛高地如斐济的砍伐森林、水土流失现象与儿童水源性腹泻以及下游珊瑚礁健康和繁殖问题之间的关联；还有一些项目研究了森林砍伐模式同亚马逊及其它主要森林系统中发生的疟疾之间的关联；此外，还有项目研究了苏门答腊岛的自然火同下风处开阔地区烟雾相关心肺疾病发生率的关联；其他项目包括渔民进入海洋保护区的权利、食品安全问题、收入中用于购买健康服务的比例，以及其心理上对于沿海资源安全性的“感觉”之间的关联。

HEAL协调者、野生动物保护协会(Wildlife Conservation Society)健康政策部主任Steve Osofsky称，最重要的也许是，项目应当力图量化所有这些和传染性疾病、非传染性疾病、营养以及社会和心理健康相关的关联性。用Osofsky的话说，就是“如果它无法被测量，那它就无法被管理。”

评估生态系统服务的最终目标“是提升全人类福祉”，Daily说。她提醒道，在任何政策决定中，总会侵害到某些人的利益。然而，她说，“我们的目的是将这些投资投入到自然资本中，从而在促进人类发展的同时减轻贫困。这才是主旨。”

David C. Holzman,居住在马萨诸塞州的莱克星顿和威尔弗里特，为科学、医学、能源、经济以及汽车杂志撰稿。他的文章曾发表在《史密森尼月刊》（*Smithsonian*）、《亚特兰大月刊》（*The Atlantic Monthly*）以及《国家癌症研究所期刊》（*Journal of the National Cancer Institute*）上。

译自*EHP* 120(4):A152–A157 (2012)
翻译：张蕴晖

***本文参考文献请浏览英文原文**

原文链接
http://dx.doi.org/10.1289/ehp.120-a152