

丁振民, 姚顺波. 生态系统服务弹性敏感性系数的合理性与决策属性探讨[J]. 地理科学, 2019, 39(10): 1672-1679. [Ding Zhenmin, Yao Shunbo. Rationality and Decision-making Attributes of Sensitivity Coefficient of Ecosystem Services Based on Elastic Model. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(10): 1672-1679.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2019.10.016

生态系统服务弹性敏感性系数的 合理性与决策属性探讨

丁振民, 姚顺波

(西北农林科技大学经济管理学院/资源经济与环境管理研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 在经济学弹性基本概念的基础之上, 采用数学推导的方式重点探讨3种生态系统服务弹性敏感性评价模型的合理性与决策属性。研究结果表明: ① Kreuter敏感性系数大小始终为0~1; 在极限形式下, 生态系统服务价值变率函数与Kreuter敏感性系数具有相同的数学表达式与值域; 所以这两种敏感性评价模型把1作为是否敏感的评价标准并不合适。生态系统服务交叉敏感性系数不符合一般意义上的“交叉敏感性”的概念, 并且其计算公式不符合弹性的基本定义。② 弹性敏感性计算方式适用于随机变量间的研究, 不适用于具有确定性关系的变量; 生态系统服务框架下的3种弹性敏感性系数均建立在具有确定性关系的生态系统服务价值计算公式的基础之上, 导致其敏感性计算结果缺乏深层次的决策属性。

关键词: 生态系统服务; 敏感性; 弹性; 合理性; 决策属性

中图分类号: F062.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2019)10-1672-08

生态系统服务(ecosystem services, ES)是人类赖以生存的自然基础条件, 在维持生命的支持系统和环境的动态平衡等方面发挥着重要作用^[1,2], 而以土地利用为基本形式的人类活动又深刻影响着生态系统结构和服务功能^[3-5]。生态系统服务敏感性评估是研究生态系统服务对土地利用变化响应机制的重要内容之一, 引发了众多学者的持续关注。

生态敏感性指生态系统对各种自然和人类活动干扰的敏感程度, 反映区域生态系统遇到干扰时出现生态环境问题的可能性大小, 当受到不合理的人类活动影响时敏感程度较高的区域更易产生生态环境问题^[6,7]。作为敏感性评价的重要方法, 弹性分析旨在考察因变量变动对自变量变动的敏感程度。Kreuter在研究生态价值系数时间变化的稳定性时, 首次把经济学上弹性的概念引入

生态系统服务的敏感性评估中, 以考察生态价值系数变动引起的生态系统服务价值(ecosystem services value, ESV)变动的程度, 并且把弹性系数值1作为判断敏感性大小的标准^[8]。随后, Kreuter敏感性系数成为判定当量因子系数可靠性的主流方法, 在生态系统服务敏感性评估中得到大量运用。但是, 大量的研究表明Kreuter敏感性系数不存在大于1的情况^[9-11], 这就使得Kreuter敏感性系数遭到质疑^[12]。另外, 喻建华等人根据Kreuter敏感性系数提出生态系统服务价值变率函数, 即把生态系统服务价值变动程度构建为各土地利用类型面积变动程度的函数, 以考察土地利用类型面积变化对生态系统服务价值的影响^[13]。然而从实际的计算结果来看, Kreuter敏感性系数与生态系统服务价值变率函数得到的结果相同^[14,15]。这种

收稿日期: 2018-12-25; **修订日期:** 2019-03-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(71773091)、林业公益性行业科研专项经费(201504424)、教育部人文社会科学重点研究基地基金(14JJD790031)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (71773091), Special Funds for Scientific Research in Forestry Public Welfare Industry of China (201504424), Funding Project of Education Ministry for the Key Research Bases of Liberal Arts and Social Sciences (14JJD790031).]

作者简介: 丁振民(1991-), 男, 安徽淮北人, 博士研究生, 主要研究方向为资源经济与环境管理、林业经济与政策评价。E-mail: huan-glishanren@sina.com

通讯作者: 姚顺波, 教授。E-mail: yaoshunbo@163.com

结果是巧合还是存在某种必然?如果是一种必然,那么 Kreuter 敏感性系数与生态系统服务价值变率函数到底存在何种联系?随后,考虑到生态系统服务价值变率函数无法反映生态系统服务价值对每种土地利用类型相互转化过程的响应程度,普拉提·莫合塔尔等人提出了生态系统服务交叉敏感性的概念与计算方法用以弥补生态系统服务价值变率函数的缺陷^[16,17]。但是其敏感性公式并不符合极限形式下的弹性计算要求,导致其计算结果难以表达弹性系数应有的现实意义,并且文中并未给出交叉敏感性的引申来源与推理过程,以至于采用生态系统服务交叉敏感性定义生态系统服务价值对于地类相互转化的响应程度并不符合原始的交叉敏感性概念的含义。

生态系统服务弹性敏感性评价模型成为生态系统服务评估的重要内容,但其本身存在严重的缺陷可能对未来的研究起到误导作用。本文将以前述数学证明的方式回答 Kreuter 敏感性系数以 1 作为生态敏感性的判定标准是否合适? Kreuter 敏感性系数与生态系统服务价值变率函数之间具有何种联系?弹性计算公式下生态系统服务交叉敏感性系数能否合理评价生态系统服务对地类转化过程的响应程度?等关键问题。

1 弹性理论与经济决策属性

弹性作为评价随机变量之间敏感性关系的一种方法,其概念来源于马歇尔对商品消费数量与价格之间的关系研究^[18],其实质是一种极限思维研究事物之间关系,形如:

$$[(q_i - q_j)/q_j]/[(p_i - p_j)/p_j] \quad (1)$$

式中, q 表示商品的消费量; p 为商品的价格, i 表示为调整后, j 表示为调整前。

$(\Delta q/q)/(\Delta p/p)$ 或者 $(dq/dp)(p/q)$ 的形式都可以称之为弹性或者敏感性;其中, $[(q_i - q_j)/q_j]/[(p_i - p_j)/p_j]$ 与 $(\Delta q/q)/(\Delta p/p)$ 为弧弹性计算公式,而 $(dq/dp)(p/q)$ 为点弹性计算公式。假设消费者的商品消费量仅受到自身商品价格与相关商品价格的影响,其需求函数可以表示为:

$$q_v = f(p_v, p_g) \quad (2)$$

式中, v 为第 v 类商品; g 为第 g 类相关商品,则商品 v 的需求价格弹性:

$$e_v = (dq_v/dp_v)(p_v/q_v) \quad (3)$$

式中, dq_v/dp_v 为 p_v 的一阶导数)。需求价格弹性有着实际的经济含义,可以运用需求价格弹性有效的划分商品类型。 $e_v > 1$, 则商品 v 为高档物品,降价销售可以提高生产者收入; $e_v < 1$, 商品 v 则为生活必需品,提价销售才能提高生产者的收入。由于商品之间功能上存在交叉重叠,相似产品价格的变化也会引起产品自身的消费数量的变化。需求交叉价格弹性是商品 v 的消费数量对相关商品 g 价格变动程度的响应函数,即

$$e_{vg} = (dq_v/dp_g)(p_g/q_v) \quad (4)$$

式中, dq_v/dp_g 为 p_g 的一阶导数。同样,需求交叉价格弹性同样也有着的实际决策属性。 $e_{vg} > 0$ 说明商品 v 与商品 g 存在功能上的相互替代,替代品应该分区销售以避免产品之间的竞争才能增加生产者收入; $e_{vg} < 0$ 说明商品 v 与商品 g 在功能上具有互补性功能,互补品捆绑销售才能增加生产者的收入。

可以看出无论是商品的需求价格弹性还是需求交叉价格弹性都具有现实意义与决策属性。

2 生态系统服务弹性敏感性合理性及决策属性

2.1 Kreuter 敏感性系数

在生态系统服务计算框架下, Kreuter 敏感性系数 (coefficient of sensitivity, CS) 主要衡量生态系统服务价值对某类生态价值系数变动做出反应的敏感程度^[8,12], 即

$$CS = [(ESV_i - ESV_j)/ESV_j]/[(VC_{i,k} - VC_{j,k})/VC_{j,k}] \quad (5)$$

式中, ESV 表示生态系统服务价值; VC 表示生态价值系数; k 表示第 k 类土地利用类型。在极限形式下, Kreuter 敏感系数又可以改写为:

$$\begin{aligned} CS &= \lim_{VC_{i,k} \rightarrow VC_{j,k}} \{[(ESV_i - ESV_j)/ESV_j]/[(VC_{i,k} - VC_{j,k})/VC_{j,k}]\} \\ &= \lim_{\Delta VC_k \rightarrow 0} [(\Delta ESV/ESV)/(\Delta VC_k/VC_k)] \\ &= (dESV/dVC_k)(VC_k/ESV) \end{aligned} \quad (6)$$

生态系统服务价值的计算公式:

$$ESV = \sum VC_k \times S_k \quad (7)$$

式中, S 为土地利用面积。则可以利用点弹性的计算公式 $e = (dq/dp)(p/q)$ 求出:

$$CS = (dESV/dVC_k)(VC_k/ESV) = (VC_k \times S_k)/(\sum VC_k \times S_k) \quad (8)$$

那么 Kreuter 敏感性系数以 1 作为判断敏感性

大小是否科学呢? 对CS进行如下变形:

$$CS = (VC_k \times S_k) / (\sum_k VC_k \times S_k) = (VC_k \times S_k) / (VC_k \times S_k + \sum_m VC_m \times S_m) = 1 / [1 + (\sum_m VC_m \times S_m) / (VC_k \times S_k)] \quad (9)$$

式中, m 表示除第 k 类土地以外的其他土地利用类型); 对于其他地类 m 来讲, 其生态系统服务价值 $ESV_m = \sum VC_m \times S_m > 0$, 所以 $0 < CS < 1$ 恒成立, 即无论生态价值系数如何变化 CS 不可能产生大于 1 的情况。所以按照经济学弹性把 1 作为判定敏感性的标准并不合适。

其次, CS 计算公式中的自变量和因变量不满足“随机性”的假设。由于生态系统服务价值计算公式 ($ESV = \sum VC_k \times S_k$) 并不存在任何内生估计参数, 导致弹性公式下的 Kreuter 敏感性系数 $CS = (VC_k \times S_k) / (\sum VC_k \times S_k)$ 可以由模型结构完全决定而并非由数据结构所决定, 即给定外生参数 VC_k 和 S_k 即可知道 Kreuter 敏感系数的大小。利用弹性公式评价生态系统服务价值对土地利用变化的敏感程度并不满足“随机性”的前提, 难以表达生态系统服务价值与土地利用之间的内在规律。Kreuter 敏感性系数只能当作各地类生态价值对生态系统服务价值的重要性程度^[12], 缺乏较深层次上的现实意义和决策功能。

2.2 生态系统服务价值变率函数

生态系统服务价值变率函数 (change rate, CR) 旨在考察某类土地利用面积变动引起生态系统服务价值变动的程度^[13], 即

$$CR = [(ESV_i - ESV_j) / ESV_j] / [(S_{i,k} - S_{j,k}) / S_{j,k}] \quad (10)$$

在极限形式下, 生态系统服务价值变率函数又可以改写为:

$$CR = \lim_{S_{i,k} \rightarrow S_{j,k}} \{[(ESV_i - ESV_j) / ESV_j] / [(S_{i,k} - S_{j,k}) / S_{j,k}]\} = \lim_{\Delta S_i \rightarrow 0} [(\Delta ESV / ESV) / (\Delta S_k / S_k)] = (dESV / dS_k) (S_k / ESV) \quad (11)$$

同上, 在生态系统服务价值计算公式的基础上, 可以求出生态系统服务价值变率函数的点弹性:

$$CR = (dESV / dS_k) (S_k / ESV) = (VC_k \times S_k) / (\sum VC_k \times S_k) \quad (12)$$

由以上两个敏感系数形式可知, CS 与 CR 敏感性的点弹性估计形式完全一样。这就很好地解释彭文甫、樊敏等人 在研究中得到 CS 与 CR 相同结果的原因^[14,15]。同理, 生态系统服务价值变率函数也

不满足“随机性”的假设, 其现实意义与决策功能难以在现实中凸显出来。

在理论上 CR 与 CS 二者之间不存在差别, 这在实际的研究中已经到的验证^[14,15]。但为什么还存在一些研究结果看上去 CR 与 CS 存在一些差异^[13]? 现有研究对 CR 和 CS 均使用弧弹性的方法 $e = [(q_i - q_j) / q_j] / [(p_i - p_j) / p_j]$ 进行计算; 虽然弧弹性的计算方法使用较为简单方便, 但是并没有点弹性的估计结果准确, 所以一些研究得到 CR 和 CS 的结果相近但不一致的现象, 导致研究人员错误地认为 CR 与 CS 是对事物 2 个不同方面的评价。

2.3 生态系统服务交叉敏感性系数

单独考察土地类型数量变化引起生态系统服务价值的变化程度, 难以清晰地反映生态系统服务价值对不同土地类型间相互转化的响应程度, 直接运用 Kreuter 敏感性系数具有一定局限性^[16]。因此, 文献 [16, 17] 在 CR 和 CS 基础上提出交叉敏感性系数 (cross-coefficient of sensitivity, CCS) 的概念, 以考察某土地类型向另一土地类型转换时面积变化对生态系统服务价值的变化影响的程度, 即:

$$CCS = [(\Delta ESV) / ESV_j] / \{(\Delta S_{h \leftrightarrow l}) / [(S_{j,h} + S_{j,l}) / 2]\} \quad (13)$$

式中, h 与 l 分别表示第 h 类和第 l 类土地利用类型, $h \leftrightarrow l$ 表示第 h 类和第 l 类土地利用面积之间的相互转移。

CCS 的计算方式不满足敏感性的一般要求。虽然 CCS 满足敏感性形式, 但是由于土地面积转化比率 $\{(\Delta S_{h \leftrightarrow l}) / [(S_{j,h} + S_{j,l}) / 2]\}$ 的基期选择存在偏差, 难以得出“地类之间转化净增加面积变动 1% 引起生态系统服务价值变动多少”的正确结论。根据弹性的基本公式可知, 当 Δp 趋于 0 时, 会得到 q_i 趋于 q_j , 并且 p_i 趋于 p_j 。然而, 对 CCS 的公式进行变形, 即

$$[(\Delta ESV) / ESV_j] / \{(\Delta S_{h \leftrightarrow l}) / [(S_{j,h} + S_{j,l}) / 2]\} = \{[(ESV_i - ESV_j) / (ESV_i + ESV_j)] / [(\Delta S_{h \leftrightarrow l}) / (S_{j,h} + S_{j,l}) / 2]\} \quad (14)$$

当 $\Delta S_{h \leftrightarrow l}$ 趋于 0 时, $S_{j,k}$ 与 $S_{j,l}$ 却无法得到收敛的结果。在这里该公式偷换了弹性“ p 变动 1% 引起 q 变动百分之几”的弹性基本概念。因此, 对 CCS 只能理解为“土地净转移面积占初始相互转移地类面积平均值的比例增加 1%, 引起生态系统服务价值变动百分之几”的结论。为此, CCS 的计算公式并不满足弹性计算的基本要求, 因此也难以理解

该公式所表达的实际意义与决策用途。

退一步来讲,假定 CCS 有实际的经济含义,其能否反映两种事物间的内在规律呢? 为了方便理解,假设区域内只有两种地类, h 和 l ; 那么生态系统服务价值

$$\begin{aligned} ESV_t = & VC_h \times S_{t-1,h} + VC_l \times S_{t-1,l} + (VC_l - VC_h) \times S_{h \rightarrow l} + \\ & (VC_h - VC_l) \times S_{l \rightarrow h} = VC_h \times S_{t-1,h} + VC_l \times S_{t-1,l} + \\ & (VC_l - VC_h) \times (S_{h \rightarrow l} - S_{l \rightarrow h}) = VC_h \times S_{t-1,h} + \\ & VC_l \times S_{t-1,l} + (VC_l - VC_h) \times S_{h \leftrightarrow l} \end{aligned} \quad (15)$$

式中, t 为时间; $h \rightarrow l$ 表示第 h 类土地向第 l 类转移, $l \rightarrow h$ 表示第 l 类土地向第 h 类土地转移。在这里对 ESV_t 计算公式净转移面积 $S_{h \leftrightarrow l}$ 求导, 可得 $(dESV_t)/dS_{h \leftrightarrow l} = (VC_l - VC_h)$, 等式两边同时乘以 $[(S_{t-1,h} + S_{t-1,l})/2]/ESV_t$, 即:

$$\frac{(dESV_t/ESV_t)}{[dS_{h \leftrightarrow l}/[(S_{t-1,h} + S_{t-1,l})/2]]} = \frac{(VC_l - VC_h) \times [(S_{t-1,h} + S_{t-1,l})/2]/ESV_t}{(VC_l - VC_h) \times [(S_{t-1,h} + S_{t-1,l})/2]/ESV_t} \quad (16)$$

该结果出现了与 CS 和 CR 一样的问题, 即不存在任何内生估计参数, 计算结果由模型结构完全确定并非数据结构所决定。

另外, 从定义上来看, 生态系统服务交叉敏感性的概念并不符合一般意义上交叉敏感性的概念。相关研究也并未给出所定义的“生态系统服务交叉敏感性”如何对一般意义上的交叉敏感性进行引申或者推理的过程, 其决策属性与用途也并未在文中说明^[16,17]。cross(英文释义“intersect”)本意指十字路口、横跨、穿越的意思, 引申为事物间交叉(点), 例如经济地理学是经济学与地理学交叉形成的跨学科专业。在数学上交叉关系(cross-relation 或者 intersected referencing)是指事物间的重合关系^[19]。“交叉敏感性(弹性)”概念来源于马歇尔对商品消费量与相关物品价格间关系研究时所定义的“需求交叉价格弹性”, 可以通过需求交叉价格弹性系数的大小方向判断两种商品在功能上的替代或者互补程度^[18]。但把土地利用类型间相互转移的变动引起的生态系统服务价值变化的敏感程度定义为“交叉敏感性”, 其得到的结果难以表达重合或者交叉含义。因此, 现有研究设计的 CCS 评价模型并不建议定义为生态系统服务交叉敏感性, 其内在的含义是否存在还需要进一步探讨。

综合来看, 生态系统服务交叉敏感性模型的定义不符合一般意义上的交叉敏感性的含义; 并

且公式设计不满足弹性的基本要求, 以至于得到的结果不具有反映生态系统服务价值对土地利用变化敏感性的能力。

3 生态系统服务弹性敏感性研究重点与方向

生态系统服务价值变率函数(CR)与生态系统服务交叉敏感性系数(CCS)提出的理论基础比较薄弱、科学含义尚需进一步界定、所具有的现实意义与决策价值还不明确。而在现有的生态系统服务价值评估体系下, Kreuter 敏感性系数只能当作各地类生态价值对生态系统服务价值的重要性程度^[12]。目前, 大多数生态系统服务价值的计算均采用当量因子法特别是国内基于专家打分的当量因子法, 其主要弊端就是无法考察生态系统服务与市场价格变化之间的关系^[20], 与 Costanza 最初运用经济学的意愿支付法计算生态系统服务的市场价值存在一定的差距^[21]。当量因子法计算的生态价值系数即生态系统服务的需求价格, 无法动态地揭示人类对生态系统服务的偏好, 违背“需求定理”的同时给生态系统服务(价值)敏感性评估造成一定的困难^[12]。经济学的有关弹性(敏感性)的研究旨在揭示物品数量与价格之间的关系, 并非是价格与消费总额或者收入总额之间的确定性关系。因此, 生态系统服务供给或者需求数量与价格之间的关系才是应该研究的重点, 而非生态系统服务价值与生态价值系数(价格)这种确定性的关系。

生态系统服务的供给或者需求价格弹性(敏感性)内生于物品属性之中^[22], 按照物品属性研究生态系统服务对价格变化的敏感程度可能具有更强的现实指导意义。根据 Costanza 等人^[21]的研究, Brett 等人把生态系统服务分为私人物品(服务)和公共物品(服务)^[23](表1)。生态系统服务中食物生产、原料生产、气候调节、水源供给、废物处理等服务归属于具有竞争性较强的私人物品; 而空气净化、土壤保持、生物多样性以及美学景观等服务则划分为非竞争性的公共物品。在生态系统服务中私人物品一般是人类生产生活的必需品, 具有低弹性需求而高弹性供给的特点, 而公共物品则表现为高弹性需求、低弹性供给的特点。

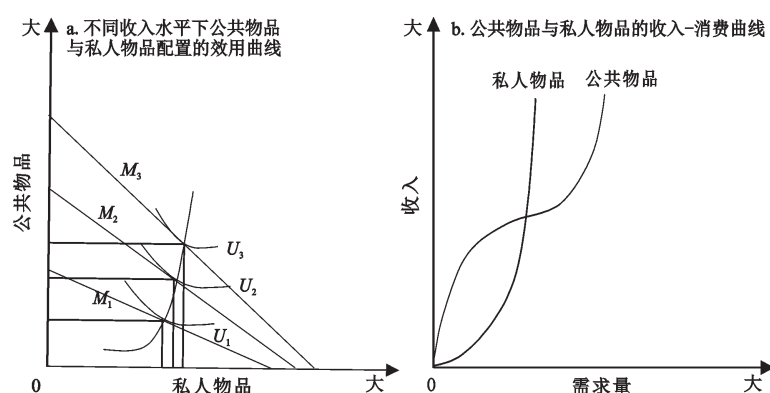
图1看出, 随着消费收入水平的提高, 消费者

表1 生态系统服务分类及其供需弹性

Table 1 Classification of ecosystem services and their elasticity of supply and demand

生态系统服务	物品类型	特点
食物生产	私人物品	低弹性需求,少量的替代品;高弹性供给,廉价地进口
原料生产	私人物品	低弹性需求,少量的替代品;高弹性供给,廉价地进口
空气净化	公共物品	高弹性需求,具有奢侈品的特点;低弹性供给,少量的替代品
气候调节	私人物品	需求弹性不明;高弹性供给,依赖于能源效率进步和可再生资源更新
水资源供给	私人物品	低弹性需求,少量的替代品;高弹性供给
废物处理	私人物品	低弹性需求,少量的替代品;高弹性供给
土壤保持	公共物品	高弹性需求,具有奢侈品的特点;低弹性供给,少量的替代品
生物多样性	公共物品	高弹性需求,具有奢侈品的特点;低弹性供给,少量的替代品
美学景观	公共物品	高弹性需求,具有奢侈品的特点;低弹性供给,少量的替代品

注:来源于 Brett A Bryan 等人的整理,具体见参考文献[20]。



M_1 、 M_2 、 M_3 在不同时期的消费者的收入水平; U_1 、 U_2 、 U_3 为 M_1 、 M_2 、 M_3 分别对应的效用水平

图1 生态系统服务中不同类型物品(服务)的需求定律

Fig.1 The law of demand for different types of goods (services) in ecosystem services

对具有必需品特点的私人物品和具有奢侈品特点的环境公共物品遵循着不同的需求定律。假设在不同时期的消费者的收入水平为 M_1 、 M_2 、 M_3 , 分别对应的效用水平为 U_1 、 U_2 、 U_3 。随着消费者的收入增加, 消费者对于私人物品和公共物品的消费都在增加; 但由于公共物品的需求弹性大于私人物品的需求弹性, 导致在消费者收入水平提高的过程中, 公共物品的消费量与私人物品消费量的比值会逐渐增大(图1a)。另外, 由于生态系统服务中的私人物品具有必需品的特点, 随着消费者收入水平的提高, 消费者对私人物品的边际消费倾向呈现递减趋势。而对于生态系统服务中具有奢侈品特点的环境公共物品, 消费者的需求遵循 Pearl 生长曲线规律^[24]; 随着收入的增加, 消费者对环境等公共物品的需求逐渐增加, 但其边际消费倾向呈现“S”型的特点(图1b)。虽然现有的研

究已经使用 Pearl 生长曲线对生态价值系数进行调整^[11,24], 但并未区分生态系统服务中的私人物品和公共物品, 统一把生态系统服务当作公共物品进行系数修正。

生态系统服务的价格取决于各种生态系统服务的供需能力与消费者的偏好。解决生态系统服务定价的问题对于生态经济学理论的发展与创新具有重要的基础性作用, 并且对于未来推动生态产品市场化与建立完善的生态补偿制度具有很强的指导意义。

4 结论

生态系统服务敏感性评价是研究生态系统对土地利用响应程度的重要内容, 然而以弹性公式为计算基础的生态系统服务敏感性系数的合理性仍需进一步探讨。本文运用数学推导的方式重点

探讨了3种生态系统服务敏感性评价模型的合理性与决策属性。得出以下结论:

Kreuter敏感性系数大小始终为0~1,所以1作为判定生态系统服务价值对生态价值系数变化敏感性的临界值并不合适;在现有的生态系统服务价值评估体系下,Kreuter敏感性系数只能当作各地类生态价值对生态系统服务价值的重要性程度。由于在极限形式下,生态系统服务价值变率函数与Kreuter敏感性系数具有相同的数学表达式和值域,所以这两种敏感性评价模型在实际的计算过程中会得到一致的结果;而现有的文献中均采用弧弹性的计算方式,有时会掩盖两种模型评价的真实结果,以致研究者错误地认为这两种模型得到的结果分别是评价事物的2个不同方面。虽然生态系统服务交叉敏感性系数考虑了各地类相互转化对生态系统服务价值的影响,但是其计算公式并不满足弹性的基本含义并且定义上存在一定缺陷,因此其计算结果无法表达弹性的现实意义。

弹性公式一般适用于随机变量间的研究,不适用于具有确定性关系的变量;无论是Kreuter敏感性系数、生态系统服务价值变率函数还是生态系统服务交叉敏感性系数均建立在具有确定性关系的生态系统服务价值计算公式的基础之上,导致其弹性计算结果缺乏深层次的决策属性。按照经济学的有关弹性(敏感性)的研究,生态系统服务供给或者需求数量与市场价格之间的关系才是应该研究的重点,而非生态系统服务价值与生态价值系数(价格)这种确定性的关系。

生态系统服务的供给或者需求价格弹性(敏感性)内生于物品属性之中,按照物品属性研究生态系统服务对价格变化的敏感程度可能具有更强的现实指导意义。在生态系统服务中私人物品一般是人类生产生活的必需品,具有低弹性需求而高弹性供给的特点,而公共物品则表现为高弹性需求、低弹性供给的特点。虽然现有的研究已经使用Pearl生长曲线对生态价值系数进行调整,但并未区分生态系统服务中的私人物品和公共物品,统一把生态系统服务当作公共物品进行系数修正。

参考文献(Reference):

- [1] Daily G C. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [2] 唐玉芝, 邵全琴, 曹巍, 等. 基于物质质量评估的贵州南部地区生态系统服务及其县域差异比较[J]. 地理科学, 2018, 38(1):

- 122-134. [Tang Yuzhi, Shao Quanqin, Cao Wei et al. The ecosystem services and its spatial variation at county scale in the Southern Guizhou Based on physical assessment method. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(1): 122-134.]
- [3] 吴大千, 刘建, 贺同利, 等. 基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 256-260. [Wu Daqian, Liu Jian, He Tongli et al. Profit and loss analysis on ecosystem services value based on land use change in Yellow River Delta. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(8): 256-260.]
- [4] 彭保发, 郑俞, 刘宇. 耦合生态服务的区域生态安全格局研究框架[J]. 地理科学, 2018, 38(3): 361-367. [Peng Baofa, Zheng Yu, Liu Yu. Coupling ecosystem services and regional ecological security pattern. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(3): 361-367.]
- [5] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(1): 97-106. [Yang Qingke, Duan Xuejun, Wang Lei et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(1): 97-106.]
- [6] 欧阳志云. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 9-12. [Ouyang Zhiyun. China's eco-environmental sensitivity and its spatial heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(1): 9-12.]
- [7] 陈昕, 彭建, 刘焱序, 等. 基于“重要性-敏感性-连通性”框架的云浮市生态安全格局构建[J]. 地理研究, 2017, 36 (3): 471-484. [Chen Xin, Peng Jian, Liu Yanxu et al. Constructing ecological security patterns in Yunfu city based on the framework of importance-sensitivity-connectivity. *Geographical Research*, 2017, 36 (3): 471-484.]
- [8] Kreuter P U, Harris G H, Matlock D M et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas[J]. *Ecological Economics*, 2001, 39: 333-346.
- [9] 刘超琼, 彭开丽, 陈红蕾. 安徽省土地利用变化下的生态敏感性时空规律[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(9): 1584-1590. [Liu Chaoqiong, Peng Kaili, Chen Honglei. Spatio-temporal characteristics of ecological sensitivity to land use change in Anhui Province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(9): 1584-1590.]
- [10] 莫宏伟, 任志远, 王秋贤. 风沙过渡区土地利用变化及生态效应图谱——以陕北榆阳区为例[J]. 地理科学, 2008, 28(6): 770-775. [Mo Hongwei, Ren Zhiyuan, Wang Qiuxian. Images analysis of land use change and its eco-environmental effects in wind drift sand region: A case study on Yuyang District of the Northern Shaanxi Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(6): 770-775.]
- [11] Li Y, Zhan J, Liu Y et al. Response of ecosystem services to land use and cover change: A case study in Chengdu City[J]. *Resources Conservation & Recycling*, 2017, 132: 291-300.

- [12] Aschonitis V G, Gaglio M, Castaldelli G et al. Criticism on elasticity-sensitivity coefficient for assessing the robustness and sensitivity of ecosystem services values[J]. *Ecosystem Services*, 2016, 20:66-68.
- [13] 喻建华, 高中贵, 张露, 等. 昆山市生态系统服务价值变化研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2005(2):213-217. [Yu Jianhua, Gao Zhonggui, Zhang Lu et al. Change in ecosystem services value in Kunshan City. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005 (2): 213-217.]
- [14] 彭文甫, 周介铭, 杨存建, 等. 基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(7): 1053-1062. [Peng Wenfu, Zhou Jieming, Yang Cunjian et al. Research on ecosystem service values based on land use change in Sichuan Province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(7): 1053-1062.]
- [15] 樊敏, 李富程, 郭亚琳, 等. 退耕还林对岷江上游高山聚落区生态服务价值变化的影响[J]. *山地学报*, 2016, 34(3): 356-365. [Fan Min, Li Fucheng, Guo Yalin et al. Effects of grain for green project on changes in ecosystems service values of alpine settlement area in the upper reaches of the Minjiang River. *Mountain Research*, 2016(3): 356-365.]
- [16] 普拉提·莫合塔尔, 海米提·依米提. 土地利用变化下的生态系统服务敏感性研究——以克里雅绿洲为例[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(11): 1849-1858. [Polat Muhtar, Hamid Yimit. Ecosystem services sensitivity to land-use change: A case study of the Keriya Oasis. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(11): 1849-1858.]
- [17] 刘永强, 龙花楼, 李加林. 长江中游经济带土地利用转型及其生态服务功能交叉敏感性研究[J]. *地理研究*, 2018, 37(5): 1009-1022. [Liu Yongqiang, Long Hualou, Li Jialin. Study on the land use transition and its cross-sensitivity of ecological service function in the middle of Yangtze River Economic Belt. *Geographical Research*, 2018, 37(5): 1009-1022.]
- [18] 阿弗里德·马歇尔. 经济学原理[M]. 廉运杰, 译. 北京: 华夏出版社, 2017. [Afrid Marshall. *Principles of Economics*. Translated by Lian Yunjie. Beijing: Huaxia Publishing Company, 2017.]
- [19] 彭漪涟. 逻辑学大辞典[M]. 上海: 上海辞书出版社, 2004. [Peng Yilian. *Dictionary of logic*. Shanghai: Shanghai Lexicography Press, 2004.]
- [20] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254. [Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Leiming et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(8): 1243-1254.]
- [21] Costanza R, D'Arge R, De Groot R et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *World Environment*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [22] Geijzendorffer I R, Roche P K. The relevant scales of ecosystem services demand[J]. *Ecosystem Services*, 2014, 10: 49-51.
- [23] Bryan B A, Yanqiong Y, Jia'En Z et al. Land-use change impacts on ecosystem services value: Incorporating the scarcity effects of supply and demand dynamics[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 32: 144-157.
- [24] 周晨, 丁晓辉, 李国平, 等. 南水北调中线工程水源区生态补偿标准研究——以生态系统服务价值为视角[J]. *资源科学*, 2015, 37(4): 792-804. [Zhou Chen, Ding Xiaohui, Li Guoping et al. Ecological compensation standards in the water source area of the middle route project of the South-North water transfer project: the perspective of ecosystem service value. *Resources Science*, 2015, 37(4): 792-804.]

Rationality and Decision-making Attributes of Sensitivity Coefficient of Ecosystem Services Based on Elastic Model

Ding Zhenmin, Yao Shunbo

(Research Center for Resource Economics and Environmental Management, College of Economics and Management, Northwest Agriculture and Forestry University, Yang Ling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: It's not suitable for 1 to be regarded as criterion to judge the sensitivity of ecosystem services because the Kreuter sensitivity coefficient always ranges from 0 to 1, which means, it can only be regarded as the land ecological importance to ecosystem service value under the existing ecosystem service value evaluation sys-

tem. In addition, the variability function of ecosystem service value has the same mathematical expression and range as Kreuter sensitivity coefficient in the limit form. However, sometimes it can get a little different or approximate calculation results using the inaccurate arc elasticity calculation method, so that it mistakenly leads us to believing that the two models get two kinds of results. Although the impact of the transformation between different categories on the value of ecosystem services is taken into the cross-sensitivity coefficient, the calculation formula does not meet the basic definition of elasticity, and so the calculation results are difficult to express the meaning of elasticity. The calculation method of elastic sensitivity is generally suitable for random variables, but not for variables with deterministic relations. Whether Kreuter sensitivity coefficient, variability function of ecosystem service value or ecosystem service cross-sensitivity coefficient are all based on the ecosystem services value formula. As a result, the elastic calculation results lack of deep decision-making attributes. According to the elasticity (sensitivity) in economics, the relationship between the supply or demand of ecosystem services and prices should be the research focus rather than the deterministic relationship between the ecosystem services value and the coefficient of ecological value. The price elasticity (sensitivity) of supply or demand of ecosystem services is inherent in the attributes of goods. It may be of greater practical significance to study the sensitivity of ecosystem services to price changes according to the attributes of goods. In ecosystem services, private goods are generally the necessities with the characteristics of low elastic demand and high elastic supply, while public goods are characterized by high elastic demand and low elastic supply. Although the existing studies have used Pearl growth curve to adjust the ecological value coefficient, they do not distinguish between private goods and public goods in ecosystem services, and uniformly regard ecosystem services as public goods.

Key words: ecosystem services; sensitivity; elasticity; rationality; decision-making attributes