

土地生态价值与居民收入的关系研究

——基于引入土地资本的内生经济增长模型的分析

唐茂钢 王克强 刘红梅*

摘要: 本文首先构建了引入土地资本的内生经济增长模型,并利用自适应半参数回归模型对土地生态价值与居民收入的关系进行实证分析。本文得出以下结论:在经济发展初期,国家政策以促进经济发展为主,企业的生产过程对土地生态功能破坏严重,土地生态价值降低;随着经济的发展,国家意识到生态环境保护的重要性,会加大生态保护方面的投入,同时居民在生态保护和环境保护方面的意识增强,土地生态资本积累增加,这会促使土地生态价值有所增加。本文给出以下政策建议:建立土地生态价值评价指标体系;增加土地生态资本积累,提升土地生态价值;将提升土地生态价值的目标与转变经济增长方式相结合;制定合理的有利于土地生态环境保护的制度。

关键词: 土地生态价值;动态最优化;空间异质性;自适应半参数回归模型

一、引言

改革开放以来,中国经济一直保持高速增长的态势。然而,伴随着经济的快速发展,大量的农用地转化为建设用地,虽然单位土地的经济产出大大提高,但这种以高能耗和高污染为特征的粗放型增长方式给国家和人民带来了沉重的资源和环境代价(杨继生等,2013)。土地污染严重,土地的生态服务功能大幅度减弱,土地的生态价值持续降低。土地的生态服务功能主要是指土地通过其各组成要素和土地上的各种生物相互作用,并不断进行彼此相互之间的物质转化和能量交换,从而使得土地生态系统具有对人类的生态和环境保护方面的作用和功能(刘学录、曹爱霞,2008)。土地按其用途可分为农用地、建设用地和未利用地三种类型。农业用地中的耕地、园地、林地、草地和养殖用地等都具有一定的生态功效;未利用地中的荒草地、沼泽地、河流和湖泊水面等也具有一定的生态功效;未经人类开发或受人

*唐茂钢,上海财经大学公共经济与管理学院,邮政编码:200433,电子信箱:tangmaogang@126.com;王克强,上海财经大学公共经济与管理学院,邮政编码:200433,电子信箱:wkqlhm@163.com;刘红梅,上海师范大学商学院,邮政编码:200234,电子信箱:wkqzy@163.com。

本文得到国家自然科学基金项目“经济发达地区建设用地管理模式从增量化向减量化的转轨机理及政策研究”(15BJL159)、上海市教育委员会科研创新项目“地方政府经营土地政策对城镇化的影响及改革研究”(15ZS038)、上海社科基金项目“基于自然生态空间视角的中国全国和典型省份环境税制度构建和政策模拟研究”(15CJ017)、上海财经大学基金项目“资源市场化问题研究”(2014110619)和上海财经大学研究生创新基金项目“土地发展权配置和流转的经济学分析”(CXJJ-2012-330)资助。作者感谢匿名审稿人的宝贵意见,文责自负。

类影响较小的天然草地、天然林地、天然湿地和天然水域等也具有一定的生态功效;但建设用地的生态功效较弱或者说基本上不具有生态功效。

在考虑土地的利用时,不能仅仅看到其经济价值,我们还应重视其自然价值和社会价值(本文不考虑土地的社会价值),而土地的生态价值是土地自然价值中最重要的组成部分。造成土地的生态服务功能和土地的生态价值下降的原因不仅与政府、企业和个人的生态意识薄弱,以及相关的法律法规不健全有关,而且与土地的生态价值难以量化也有一定关系,即土地利用对环境的外部性难以度量。因此,我们有必要对土地的生态价值进行计算,而且在进行土地生态价值的计算时,不仅要考虑土地的生态和环境保护功能,还要考虑一定的宏观经济变量对土地生态价值的影响。党的十八届三中全会就“加快生态文明建设制度”提出“健全自然资源资产产权制度和用途管制制度”、“划定生态保护红线”以及“实行资源有偿使用制度和生态补偿制度”。中央政府已意识到生态文明建设的重要性,而土地是生态文明建设的重要载体,这说明我们必须对土地生态价值的本质进行研究,对土地的生态价值进行测算,同时还需要对土地的生态价值与居民收入等宏观经济变量的关系进行深入研究。

二、文献综述

本文从土地生态价值的计算、土地生态价值的影响因素、土地生态价值与居民收入之间的关系以及计量方法四个方面进行文献综述。

首先,在生态价值的计算方面,现有文献主要参考谢高地等(2008)给出的2002年和2007年各种土地利用类型的单位生态服务价值系数进行计算。谢高地等(2008)在Costanza等(1997)生态系统服务价值评估体系的基础上,通过对具有生态学背景的专业人员进行问卷调查,计算出中国2002年和2007年森林、草地、农田、湿地、河流/湖泊等土地利用类型的单位生态服务价值。蔡邦成等(2006)利用两种典型的生态系统服务价值系数对昆山的生态系统服务价值进行计算。郝慧梅和任志远(2007)构造了土地利用变化生态效应指数和生态效应度等指标。姚成胜等(2009)应用谢高地等人的生态系统服务价值系数,分析了1995–2005年福建省土地利用变化所引起的生态系统服务价值的变化。但是这些文献主要是从生态学的角度对土地生态价值进行计算,没有考虑宏观经济变量对土地生态价值的影响。李胜兰等(2014)基于地方政府竞争的视角,以能够同时反映经济发展和生态环境状况的“生态效率”作为衡量指标,运用DEA方法测算了1997–2010年中国30个省(区市)的区域生态效率,并检验了环境规制对中国区域生态效率的影响。本文主要利用谢高地等(2008)的生态服务价值系数,并借鉴李胜兰等(2014)提出的区域生态效率的计算方法对土地生态价值进行计算。

其次,现有文献对土地生态价值影响因素的研究主要集中在以下几个方面:(1)土地生态价值的空间动态效应研究(胡和兵等,2013;陈美球等,2013;董川永、高俊峰,2014)。(2)GDP、人口和城市化水平等经济变量对土地生态价值以及生态系统服务价值的影响(蔡邦成等,2006;姚成胜等,2009;姚远等,2013)。(3)土地利用变化、土地整理等土地类相关变量对生态系统服务价值的影响以及土地利用与生态系统服务价值的耦合机制研究(梁欣等,2006;田华文等,2008;Fontana et al.,2013)。

再次,本文借鉴环境与经济增长关系方面文献的理论模型构建本文所需的土地生态价值和居民收入之间关系的理论模型。Wang和Chuang(2011)构建了一个包含生产部门和环

境部门的两部门环境经济增长模型。黄茂兴和林寿富(2013)把环境当作具有再生能力的生产要素,将其引入到宏观经济模型中并对其进行拓展,构建了包含污染损害、环境管理等要素的五部门内生增长模型。杨继生等(2013)构建了考虑经济增长的环境和社会健康成本的测度模型,分析粗放的经济增长模式所引发的环境和社会健康成本问题。包群等(2013)采用倍差法考察了地方环境立法监管的实际效果。此外,还有一部分文献将环境或生态资本作为内生的经济增长变量,建立经济增长模型讨论环境的外部性以及生态资本与物质资本、人力资本的分配等(范金、胡汉辉,2002;刘凤良、郭杰,2002)。本文主要在 Wang 和 Chuang (2011)以及黄茂兴和林寿富(2013)的基础上通过构建模型得出土地生态价值的表达式,并探讨土地生态价值与居民收入的关系。

最后,在计量方法上,参数回归模型通常设定了计量模型的具体形式,而实际上因变量和自变量之间的函数关系有可能不是这样,非参数回归模型不假定因变量与自变量之间的具体函数形式,而是直接对因变量与自变量的数据进行拟合。为捕捉到数据的空间异质性,不同的地区需要有不同的平滑因子。空间自适应方法的主要思想是在不同的区位使用不同的平滑数量,可以更好地捕捉到空间异质性的信号。Ruppert 等(2003)第 17 章描述了带惩罚样条函数的空间自适应这一方法的拓展。Lang 和 Brezger(2004)在允许平滑参数是局部自适应的前提下,建立单变量和双变量的空间自适应贝叶斯惩罚样条平滑方法。Baladandayuthapani 等(2005)利用不同的方法,将方差函数的惩罚样条估计包含到惩罚函数中。Krivobokova 等(2008)运用了与 Baladandayuthapani 等(2005)类似的方法,但是该文使用的算法是拉普拉斯变换方法而不是马尔科夫链蒙特卡罗(MCMC)方法,从而在速度上获得较好的改进。Crainiceanu 等(2007)提出了空间适应的贝叶斯惩罚样条方法(Spatially Adaptive Bayesian Penalized Splines with Heteroscedastic Errors)来估计误差是异方差情形时的非参数回归模型。

现有的研究文献中,土地生态价值的计算主要参考谢高地等(2008)给出的 2002 年和 2007 年各种土地利用类型的单位生态服务价值系数进行计算,仅仅从生态学的角度对土地生态价值进行计算,土地生态价值不仅与耕地、林地、园地、草地、森林、湿地、河流、湖泊这些体现土地的自然生态价值的变量有关,而且与经济发展程度也有一定的关系。因此,应将生态变量和经济变量相结合对土地生态价值进行计算。同时,现有文献中深入探究土地生态价值与经济增长以及宏观经济变量之间关系的研究很少,利用非参和半参数方法对土地生态价值的影响因素进行分析的文献也较为鲜见。

本文首先在 Wang 和 Chuang(2011)、黄茂兴和林寿富(2013)等文献的基础上,将土地资本分为土地经济资本和土地生态资本^①,土地经济资本主要作为最终产品的生产要素,土地生态资本作为土地生态产品的生产要素,而居民的效用决定于物质产品消费和生态产品消费这两种消费。政府的目标是在一定的约束条件下,使得无穷期的居民消费效用最大化^②,在此条件下得出土地生态价值的表达式以及土地生态价值与人均 GDP 及居民收入的关系。

①由于本文主要研究土地生态价值与居民收入的关系,因此只考虑土地经济资本和土地生态资本,不考虑土地社会资本。

②这里假设政府是理性的,虽然实际中政府每届任期有一定的期限,从长远看其行为并不完全理性,但为了理论研究只能简化。

然后,在利用谢高地等(2008)的生态服务价值系数的基础上,同时借鉴李胜兰等(2014)提出的区域生态效率的计算方法(即利用DEA方法)对土地生态价值进行计算。并利用自适应半参数回归模型(Adaptive Semiparametric Regression)对土地生态价值与人均GDP、居民收入(分为农村居民收入和城镇居民收入)的影响关系进行计量分析,利用R程序中的AdaptFit模块对数据进行估计,对结果进行解释分析。最后得出本文的结论,并给出一定的政策建议。

三、理论模型

土地不仅是一种资源,而且可以看作一种资产和资本,土地资产是指具有明确的权属关系和排他性并具有经济价值的土地资源,土地资本是为改良土地而投入的并附着在土地上的资本(原玉廷、彭邓民,2013)。但随着经济发展以及环境的恶化,人们越来越重视生态环境的好坏,土地资本不仅包含能产生经济效应的物质资本或经济资本,而且应包含能产生生态效应的自然资本或生态资本。生态资本实质上是人造自然资本,包括能够直接进入当前社会生产和社会再生产过程的自然资源,即可再生的和可耗竭的自然资源总量与环境消纳并转化成废物的自净能力(史仕新、刘鸿渊,2004)。

根据Wang和Chuang(2011)设定经济部门和环境部门生产函数的类似形式,本文土地的经济产出和生态产出均采用AK模型的形式,土地的经济产出 $Y(t)$ 的生产函数形式如式(1)所示,土地的生态产出 $E(t)$ 的生产函数形式如式(2)所示。其中 $N_1(t)$ 为土地资本中作为经济产出的要素, $N_2(t)$ 为土地资本中作为生态产出的要素,当然 $N_1(t)$ 和 $N_2(t)$ 中也凝结有物质资本和人力资本, A 、 B 分别代表经济产出部门和生态产出部门外生的生产技术水平。其中, A 的大小与政府和企业研发方面的投入有关, B 的大小决定于三方面:一是土地生态功能的自身修复能力;二是政府在土地生态和环境方面的投入和管理效率;三是生产过程对土地生态和环境的破坏。前两个方面对 B 的大小起正向作用,最后一方面对 B 的大小起负向作用。

$$Y(t) = A \cdot N_1(t) \quad (1)$$

$$E(t) = B \cdot N_2(t) \quad (2)$$

对于政府来说,一方面,需要大力发展经济,促使经济长期增长,促进就业岗位的增加和居民收入的提高;另一方面,又不能片面追求经济增长而使环境恶化。例如,放任工业企业随意排放废水废气等,这样虽然能够短期促进经济增长,促进就业,但是却使环境进一步恶化,反而得不偿失。国家会在土地的经济产出和生态产出中做出权衡,进而制定相应的促进经济发展和保护土地生态环境方面的政策,同时也可以通过制定影响物质消费和生态消费的相应政策达到政府期望的目标。为此,本文设定土地的经济资本和生态资本的动态演化方程如式(3)和式(4)所示,其中 $C(t)$ 和 $R(t)$ 分别为居民的物质消费和生态消费,且不考虑经济资本和生态资本的折旧。

$$\dot{N}_1(t) = AN_1(t) - C(t) \quad (3)$$

$$\dot{N}_2(t) = BN_2(t) - R(t) \quad (4)$$

对居民来说,其效用取决于其消费水平和生活质量,从生活质量的角度看,人们不仅要吃好、穿好,而且要居有定所,且随着生活水平的提高以及环境恶化程度的加剧,人们对生态产品和生态服务的需求有所上升。因此,居民的效用取决于物质消费和生态消费这两种消

费。Selden 和 Song(1995)以及 Wang 和 Chuang(2011)认为最终产品消费和环境消费产生的效用是具有加性可分(additively separable)性质的。据此,本文认为居民的物质消费和生态消费也是具有加性可分性质的,居民的效用函数如(5)式所示。其中, θ 为跨期替代弹性的倒数(即跨期替代弹性 $\sigma=1/\theta$),决定了居民在不同时期之间转移其消费的意愿, θ 越小,随着消费 C 和 R 的增加,边际效用下降就越慢,居民就更愿意变动其消费(庄子银,2004)。

$$U(C(t), R(t)) = \frac{C(t)^{1-\theta}-1}{1-\theta} + \frac{R(t)^{1-\theta}-1}{1-\theta}, \theta \in (0, 1) \quad (5)$$

如果政府的目标是使得无穷期的由式(5)所表示的居民效用之和最大,前提约束是资本约束式(3)和(4),则该动态最优化问题如式(6)、(7)、(8)所示。

$$\max_{C(t), R(t)} \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left[\frac{C(t)^{1-\theta}-1}{1-\theta} + \frac{R(t)^{1-\theta}-1}{1-\theta} \right] dt \quad (6)$$

s.t.

$$\dot{N}_1(t) = AN_1(t) - C(t), N_1(0) = N_{10} \text{ 给定} \quad (7)$$

$$\dot{N}_2(t) = BN_2(t) - R(t), N_2(0) = N_{20} \text{ 给定} \quad (8)$$

式(6)中: ρ 是时间折旧率。定义 $\mu(t)$ 、 $\nu(t)$ 分别为土地的经济资本和生态资本的影子价格,则上述动态最优化问题的现时汉密尔顿函数如式(9)所示。

$$H = \left[\frac{C(t)^{1-\theta}-1}{1-\theta} + \frac{R(t)^{1-\theta}-1}{1-\theta} \right] + \mu(t) [AN_1(t) - C(t)] + \nu(t) [BN_2(t) - R(t)] \quad (9)$$

汉密尔顿函数的一阶条件如式(10)所示。

$$\frac{\partial H}{\partial C} = \frac{\partial H}{\partial R} = 0, \frac{\partial H}{\partial N_1} = \rho\mu - \dot{\mu}, \frac{\partial H}{\partial N_2} = \rho\nu - \dot{\nu} \quad (10)$$

于是有:

$$C^{-\theta} = \mu \quad (11)$$

$$R^{-\theta} = \nu \quad (12)$$

$$\mu A = \rho\mu - \dot{\mu} \quad (13)$$

$$\nu B = \rho\nu - \dot{\nu} \quad (14)$$

由式(11)和(12)得到式(15)。

$$\frac{\mu}{\nu} = \left(\frac{C}{R} \right)^{-\theta} \quad (15)$$

式(15)表明,土地的经济资本和生态资本的影子价格的比值是居民的物质消费和生态消费的比值的函数。当居民普遍追求物质消费时,企业以生产物质产品和追求经济利润为主,此时土地经济资本价值高;而当居民普遍意识到生态和环境保护的重要性时,国家也出台相应的有利于生态和环境保护的政策,此时土地的生态资本价值高。

由式(13)和(14)得出土地的经济资本和生态资本的影子价格如式(16)和(17)所示。其中, $\mu(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \mu(t)$, $\nu(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \nu(t)$,并假设 $\mu(\infty)$ 和 $\nu(\infty)$ 是确定的常数。

$$\mu(t) = \mu(\infty) e^{(A-\rho)t} \quad (16)$$

$$\nu(t) = \nu(\infty) e^{(B-\rho)t} \quad (17)$$

式(16)表明土地的经济资本的影子价格取决于经济部门生产技术水平与时间折现率之差。式(17)表明土地的生态资本的影子价格取决于土地生态产出部门生产技术水平与时间折现率之差。当国家政策以促进经济发展为主,经济产出效率 A 提高,此时土地经济资本价值有所上升;而当国家意识到土地生态环境保护的重要性时,出台相应的政策以促进生态和环境保护,这会促使生态产出效率 B 提高,此时土地生态资本价值有所上升。

在经济发展初期,国家政策以促进经济发展为主,政府对土地生态功能的保护不够重视,企业的生产过程对土地生态功能的破坏严重,这使得 B 减小,由式(17)可知土地的生态价值降低。随着经济的进一步发展,国家意识到生态保护和环境保护的重要性,会加大生态保护和环境保护方面的投入,增强生态和环境保护方面的管理力度,这使得 B 增加,由式(17)知这会促使土地生态价值有所增加。随着经济的发展和居民收入的提高,居民在生态保护和环境保护方面的意识增强,这也促使土地的生态价值有所提高。通过以上分析,我们可以得到以下两个假说。

假说一:在经济发展水平较低时,居民收入水平较低,政府以经济发展为主要目标,国家政策以促进经济发展为主,对土地生态功能重视程度和投入不足,企业的生产过程对土地生态功能破坏严重,这使得土地生态价值降低。

假说二:在经济发展水平较高时,居民收入水平较高,居民对生态环境的需求上升,国家意识到生态环境保护的重要性,也有能力加大生态保护和环境保护方面的投入,这会促使土地生态价值有所增加。

四、计量模型

通常来说,参数回归模型设定了计量模型的具体形式,而实际上因变量和自变量之间的函数关系有可能不是这样,非参数回归模型不假定因变量与自变量之间的函数形式,而是直接对因变量与自变量的数据进行拟合,但是非参数回归模型会带来“维数诅咒”的问题,而且边界上数据拟合的误差较大,针对这些问题,本文利用自适应半参数回归模型进行计量分析。

对于非参数回归模型 $y_i = m(x_i) + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$, 假设其中 $m(x)$ 的表达式为:

$$m(x) = m(x, \theta_x) = \beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_p x^p + \sum_{k=1}^{K_m} b_k (x - \kappa_k^m)_+^p \quad (18)$$

式(18)中: $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)^T$, $b = (b_1, \dots, b_{K_m})^T$, $\theta_x = (\beta^T, b^T)^T$, 且 $\kappa_1^m < \kappa_2^m < \dots < \kappa_{K_m}^m$, a_+^p 为 $\{\max(a, 0)\}^p$ 。

为避免过度拟合的问题,假设 $b_k \sim N(0, \sigma_b^2(\kappa_k^m))$, $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2(x_i))$, 根据 Crainiceanu 等(2007),带惩罚性的样条模型为:

$$\begin{cases} y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \dots + \beta_p x_i^p + \sum_{k=1}^{K_m} b_k (x_i - \kappa_k^m)_+^p + \varepsilon_i \\ \varepsilon_i \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2(x_i)), i = 1, 2, \dots, n \\ b_k \sim N(0, \sigma_b^2(\kappa_k^m)), k = 1, 2, \dots, K_m \end{cases} \quad (19)$$

假设 $\sigma_\varepsilon^2(x_i)$ 和 $\sigma_b^2(\kappa_k^m)$ 均利用对数线性模型来模拟,如公式(20)、(21)所示。将 $\sigma_b^2(\kappa_k^m)$ 假设成对数线性形式是为了建立空间适应方法来模拟 $\sigma_b^2(\kappa_k^m)$, 利用此方法可以捕捉到数据的空间异质性,因为不同的地区需要有不同的平滑因子。同时,允许不同的地区有不同的平滑因

子,还会降低数据拟合的均方误差值,提高推断的准确性(Ruppert et al.,2003)。

$$\begin{cases} \log(\sigma_\varepsilon^2(x_i)) = \gamma_0 + \gamma_1 + \cdots + \gamma_p x_i^p + \sum_{s=1}^{K_\varepsilon} c_s (x_i - \kappa_s^\varepsilon)^p_+ \\ c_s \sim N(0, \sigma_c^2), s = 1, 2, \dots, K_\varepsilon \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} \log(\sigma_b^2(x)) = \delta_0 + \delta_1 + \cdots + \delta_p x^q + \sum_{s=1}^{K_b} d_s (x - \kappa_s^b)^q_+ \\ d_s \sim N(0, \sigma_d^2), s = 1, 2, \dots, K_b \end{cases} \quad (21)$$

参照 Baladandayuthapani 等(2005), $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ 的先验分布是均值为 0 和较大方差的正态分布, $\{b_k\}_{k=1}^{K_m}$ 的先验分布独立地服从正态分布,即 $b_k \sim N(0, \sigma_b^2(\kappa_k^m))$, $k = 1, 2, \dots, K_m$, $\sigma_\varepsilon^2(x_i)$ 和 $\sigma_b^2(\kappa_k^m)$ 的先验分布均为逆伽玛分布,即 $\sigma_\varepsilon^2(x_i) \sim IG(m_\varepsilon, n_\varepsilon)$, $\sigma_b^2(\kappa_k^m) \sim IG(m_b, n_b)$ 。

为了讨论土地生态价值与居民收入的关系,本文以单位土地生态价值为因变量,以农村居民人均纯收入和城镇居民家庭人均可支配收入为人均收入水平变量,以人均 GDP 作为经济发展水平变量来研究土地生态价值与居民收入的关系。黄茂兴和林寿富(2013)利用污染损害和经济增长的联立方程模型进行计量分析,其中,污染损害方程选取人均环境污染治理投资额和能源强度作为环境污染的控制变量。受此启发,本文中也选取能够控制土地生态价值的控制变量,如各地区自然保护区面积、各地区城市绿地和公园面积以及各地区工业废水排放总量。因此,为了对各地区单位土地生态价值的影响因素进行分析,我们选择的自变量为各地区农村居民人均纯收入、城镇居民家庭人均可支配收入、人均地区生产总值、各地区自然保护区面积、各地区城市绿地和公园面积、各地区工业废水排放量。

根据以上分析,本文中的单位土地生态价值分别受人均地区生产总值(人均 GDP,用 x_1 表示)、农村居民人均纯收入(用 x_2 表示)和城镇居民家庭人均可支配收入(用 x_3 表示)影响的自适应半参数计量回归模型分别如式(22)、(23)和(24)所示^①。

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_4 + \beta_2 \ln x_5 + \beta_3 \ln x_6 + \beta_4 \ln x_7 + f(\ln x_1) + \sum_{k=1}^{K_{1m}} b_k (\ln x_1 - \kappa_{1k}^m)^p_+ + \varepsilon \quad (22)$$

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_4 + \beta_2 \ln x_5 + \beta_3 \ln x_6 + \beta_4 \ln x_7 + f(\ln x_2) + \sum_{k=1}^{K_{2m}} b_k (\ln x_2 - \kappa_{2k}^m)^p_+ + \varepsilon \quad (23)$$

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_4 + \beta_2 \ln x_5 + \beta_3 \ln x_6 + \beta_4 \ln x_7 + f(\ln x_3) + \sum_{k=1}^{K_{3m}} b_k (\ln x_3 - \kappa_{3k}^m)^p_+ + \varepsilon \quad (24)$$

其中: y 为单位土地生态价值, x_4 为人口数, x_5 为各地区自然保护区面积, x_6 为各地区城市园林和绿地面积, x_7 为各地区工业废水排放总量。 K_{1m} 、 K_{2m} 、 K_{3m} 分别为人均地区生产总值、农村居民人均纯收入和城镇居民家庭人均可支配收入的节点(knots)个数, κ_{1k}^m 、 κ_{2k}^m 、 κ_{3k}^m 分别为这三个自变量的各个节点值。 $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2(x_i))$, $b_k \sim N(0, \sigma_b^2(\kappa_k^m))$, $\sigma_\varepsilon^2(x_i)$ 和 $\sigma_b^2(\kappa_k^m)$ 的设定分别如式(20)和(21)所示。

为了便于比较,将单位土地生态价值受人均地区生产总值(人均 GDP, x_1)、农村居民人

^①对每一变量取对数。为避免多重共线性,不将人均地区生产总值、农村居民人均纯收入和城镇居民家庭人均可支配收入放入同一模型中。

均纯收入(x_2)和城镇居民家庭人均可支配收入(x_3)的参数估计结果与自适应半参数计量回归模型的结果进行比较。单位土地生态价值的参数计量模型如式(25)–(27)所示。

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_1 + \beta_2 \ln x_4 + \beta_3 \ln x_5 + \beta_4 \ln x_6 + \beta_5 \ln x_7 + \varepsilon \quad (25)$$

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_2 + \beta_2 \ln x_4 + \beta_3 \ln x_5 + \beta_4 \ln x_6 + \beta_5 \ln x_7 + \varepsilon \quad (26)$$

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_3 + \beta_2 \ln x_4 + \beta_3 \ln x_5 + \beta_4 \ln x_6 + \beta_5 \ln x_7 + \varepsilon \quad (27)$$

各变量的意义与式(22)–(24)类似,参数部分的 $n \times 1$ 仍假设服从正态分布。

五、实证分析

(一) 数据来源

由于数据获取及来源的限制,本文选取的研究期间为 2003–2011 年,研究样本为中国大陆 31 个省(市、自治区)。因变量和自变量的描述及数据来源如下所示。

因变量:全国各省(市、自治区)2003–2011 年的单位土地生态价值,通过谢高地等(2008)给出的 2002 年和 2007 年各种土地类型的单位生态服务价值进行计算,并根据李胜兰等(2014)提出的区域生态效率的计算方法,即数据包络分析(DEA)的方法进行调整。将全国各省(市、自治区)的耕地、林地、园地、草地、森林、湿地、河流、湖泊面积等作为 DEA 中的投入项,各省(市、自治区)的死亡率作为产出项,按照 CCR(Charnes et al., 1978)模型计算出 2003–2011 年各地区土地生态效率的数值。将按照 DEA 方法计算出来的土地生态效率的数值与通过谢高地等(2008)给出的 2002 年和 2007 年各种土地类型的单位生态服务价值计算出来的数值相乘得出本文所需的土地生态价值。按照该方法计算出来的土地生态价值,不仅可以反映各省(市、自治区)的耕地、林地、园地、草地、森林、湿地、河流、湖泊所体现的自然生态价值,而且可以体现经济发展程度对土地生态价值的影响。各地区耕地、林地、园地、草地、森林、湿地、河流、湖泊面积等数据来自于历年的《中国国土资源年鉴》、《中国国土资源统计年鉴》、《全国土地利用变更调查报告》、《中国统计年鉴》和中经网统计数据库。

自变量包括各地区人均生产总值、农村居民人均纯收入、城镇居民家庭人均可支配收入、人口数、各地区自然保护区面积、各地区城市绿地和公园面积以及各地区工业废水排放总量。各变量的描述及数据来源如下:(1)人均地区生产总值。各地区人均生产总值数据来源于历年的《中国统计年鉴》。为消除物价因素的影响,我们以 2003 年地区生产总值数据为基期,根据各年各地区不变价生产总值指数换算成不变价地区生产总值(单位:亿元),并除以每年年底人口数,得到人均 GDP 的数据。(2)人口数。用各地区每年年底人口数数据进行度量,该数据来源于历年的《中国统计年鉴》。(3)居民收入。居民收入数据来自于历年的《中国统计年鉴》。居民收入部分包含两个指标,分别为城镇居民家庭人均可支配收入和农村居民人均纯收入。(4)各地区自然保护区面积。该数据来源于历年的《中国统计年鉴》。(5)各地区城市绿地和公园面积,城市绿地和公园面积指用作园林和绿化的各种绿地面积。该数据来自历年的《中国统计年鉴》。(6)各地区工业废水排放总量。该数据来自历年的《中国统计年鉴》。

(二) 变量描述性统计分析

各变量描述性统计分析如表 1 所示,单位土地生态价值与人均地区生产总值、农村居民人均纯收入、城镇居民家庭人均可支配收入之间的散点图如图 1–3 所示。从各主要变量的描述性统计和图 1–3 的散点图中可以看出以下几点规律:(1)单位土地生态价值的平均值

为 208 923.7 元/公顷,即单位生态用地的生态价值为 20.9 元/平方米,该数值大于单位农业用地产出的平均值,而小于单位建设用地产出的平均值;①(2)所有变量中,各地区自然保护区面积、各地区城市绿地和公园面积、各地区工业废水排放总量这三个变量的变异系数较大,即这三个变量的单位平均值上的波动较大;(3)从图 1-3 可以看出,单位土地生态价值与人均地区生产总值、农村居民人均纯收入、城镇居民家庭人均可支配收入之间均呈现出一种正相关的关系。即随着人均地区生产总值、农村居民人均纯收入、城镇居民家庭人均可支配收入的提高,单位土地生态价值有所增加。

表 1 主要变量描述性统计

变量	变量意义	单位	平均值	最大值	最小值	标准差	变异系数
y	单位土地生态价值	元/公顷	208 923.7	1 110 823.5	55 938.07	96313.45	0.46
x ₁	人均地区生产总值	万元/人	23 200.01	85 213.00	3 685.63	16 065.73	0.69
x ₂	农村居民人均纯收入	元/人	4 693.3	16 053.79	1 564.66	2 540.66	0.54
x ₃	城镇居民家庭人均可支配收入	元/人	13 571.12	36 230.48	6 530.48	5 479.56	0.40
x ₄	人口数	万人	4 217.86	10 505.00	270.00	2 682.56	0.64
x ₅	各地区自然保护区面积	万公顷	4 812.23	41 502.77	91.00	8 697.70	1.81
x ₆	各地区城市绿地和公园面积	万公顷	54.42	420.37	0.01	65.74	1.21
x ₇	各地区工业废水排放总量	万吨	90 857.33	785 586.50	612.00	95 640.56	1.05

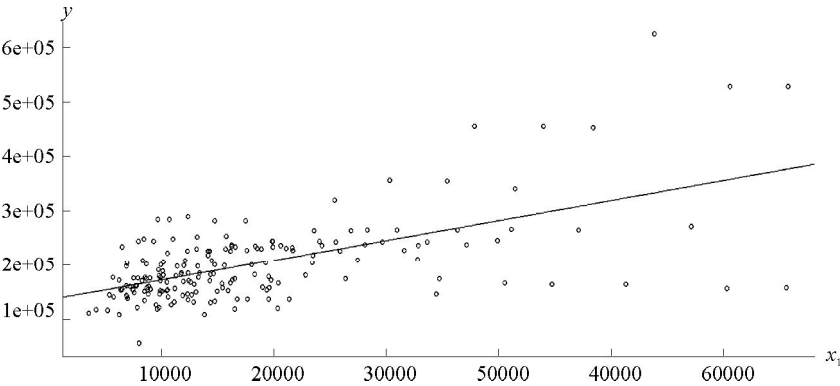


图 1 单位土地生态价值与人均地区生产总值散点图

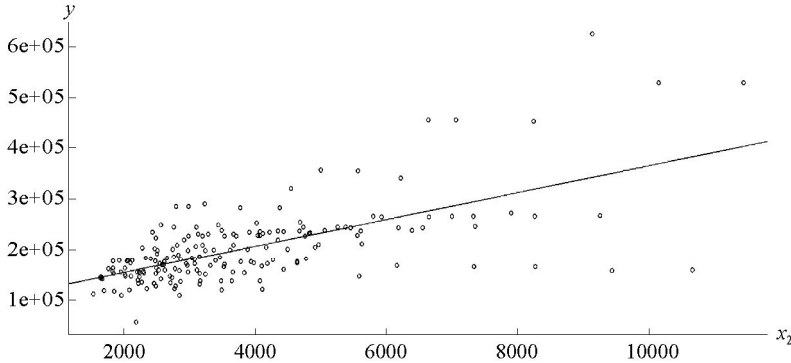


图 2 单位土地生态价值与农村居民人均纯收入散点图

①通过计算,在样本期范围内,单位农用地产出的平均值为 0.83 元/平方米,单位建设用地产出的平均值为 78.78 元/平方米。

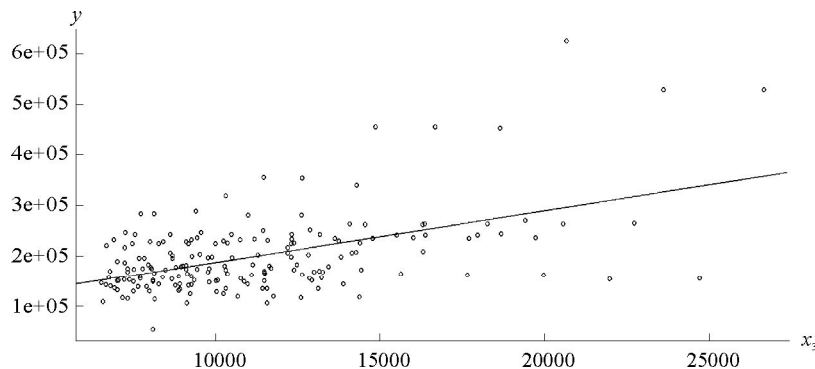


图 3 单位土地生态价值与城镇居民家庭人均可支配收入散点图

(三) 计量结果

将单位土地生态价值、人均地区生产总值、农村居民人均纯收入、城镇居民家庭人均可支配收入、人口数、各地区自然保护区面积、各地区城市绿地和公园面积、各地区工业废水排放总量这些变量取对数之后,再运用自适应半参数回归模型进行估计,为与该结果进行比较,先运用式(25)–(27)所示的参数回归模型进行计量分析,其计量结果如表 2 所示。其中,模型 1 是考虑单位土地生态价值与人均地区生产总值之间的关系,模型 2 是考虑单位土地生态价值与农村居民人均纯收入之间的关系,模型 3 是考虑单位土地生态价值与城镇居民家庭人均可支配收入之间的关系。

表 2 2003–2011 年单位土地生态价值参数回归模型计量结果

变量	模型 1	模型 2	模型 3
$\ln x_1$	0.3049 *** (10.5472)		
$\ln x_2$		0.4115 *** (7.531)	
$\ln x_3$			0.3483 *** (7.2215)
$\ln x_4$	-0.0319 (-0.7134)	-0.0338 (-0.6828)	-0.1216 ** (-2.6126)
$\ln x_5$	-0.0251 * (-1.9602)	-0.0071 (-0.4928)	-0.0297 ** (-2.1453)
$\ln x_6$	-0.0551 ** (-2.9720)	-0.1264 *** (-5.3659)	-0.0436 ** (-2.1769)
$\ln x_7$	0.0549 * (1.8175)	0.105 *** (3.3309)	0.1085 *** (3.4169)
常数项	-1.3727E+13 * (-1.7033)	-7.331E+12 (-0.894)	-9.7677E+12 (-1.1198)
调整 R^2	0.41	0.31	0.30
样本量	279	279	279

注:(1)各变量系数括号内的数值为其对应的 T 值;(2) *、** 和 *** 分别表示 10%、5% 和 1% 的统计显著水平。

从表 2 可以看出,在模型 1 中,人均地区生产总值对数的系数显著为正。这说明,随着人均地区生产总值的增加,单位土地生态价值随之上升。在模型 2 和模型 3 中,农村居民人

均纯收入和城镇居民家庭人均可支配收入的系数均显著为正。这说明,在样本期范围内,随着农村居民人均纯收入和城镇居民家庭人均可支配收入的增加,单位土地生态价值均有所上升。当居民收入较高时,居民对生态环境的需求和要求上升,要求更高质量的生态环境,要求国家重视生态环境的保护,此时由于经济发展程度也较高,国家也有能力加大生态保护和环境保护方面的投入,这就会促使土地生态价值有所增加。虽然这三个模型的拟合优度不高,但是人均地区生产总值、农村居民人均纯收入和城镇居民家庭人均可支配收入的系数均显著为正,模型的拟合优度不高是由于一部分对土地生态价值产生影响的变量没有放进模型中,但是不影响人均地区生产总值、农村居民人均纯收入和城镇居民家庭人均可支配收入与单位土地生态价值之间较强的正向相关的关系。

下面,运用式(22)-(24)所示的自适应半参数回归模型进行计量分析,基于自适应的参数回归模型的单位土地生态价值的估计结果如表3所示,单位土地生态价值与人均地区生产总值、农村居民人均纯收入、城镇居民家庭人均可支配收入的拟合曲线如图4-9所示。

表 3 基于自适应的半参数回归模型的单位土地生态值估计结果

变量		模型 1	模型 2	模型 3
$\ln x_4$		-0.128 *** (0.006)	-0.096 ** (0.025)	-0.18 *** (0.000)
$\ln x_5$		-0.032 ** (0.012)	-0.02 * (0.092)	-0.034 *** (0.007)
$\ln x_6$		0.044 * (0.079)	0.02 (0.423)	0.073 *** (0.002)
$\ln x_7$		0.052 * (0.069)	0.034 (0.212)	0.064 ** (0.021)
常数项		11.19 *** (0.000)	9.923 *** (0.000)	11.52 *** (0.000)
非参结果	df	2.175	1.525	2.442
	spar	4.68	5.707	2.268
	knots	38	38	38
样本量		279	279	279

注:(1)各变量系数括号中数值为其对应的P值;(2)*、**和***分别表示10%、5%和1%的统计显著水平。

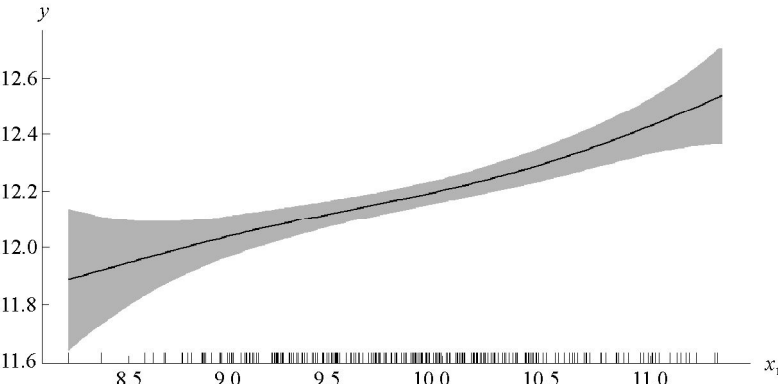


图 4 土地生态价值与人均地区生产总值拟合曲线图(加入控制变量)

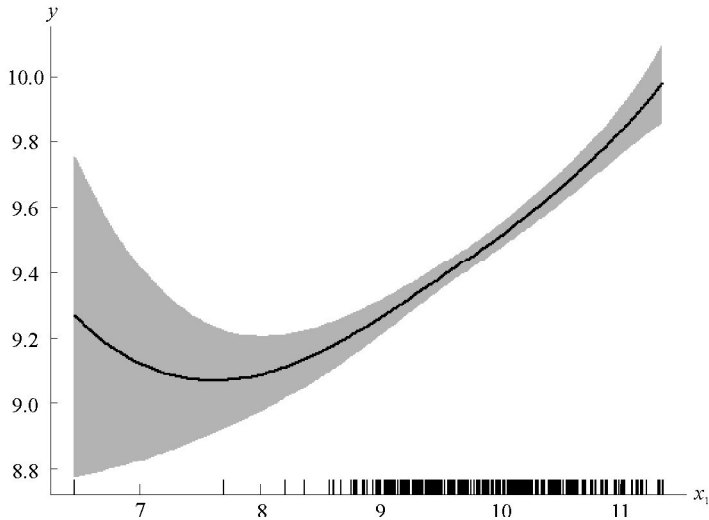


图 5 土地生态价值与人均地区生产总值拟合曲线图

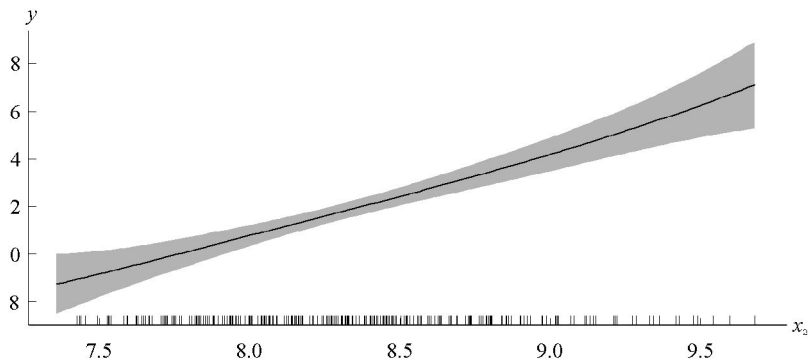


图 6 土地生态价值与农村居民人均纯收入拟合曲线图(加入控制变量)

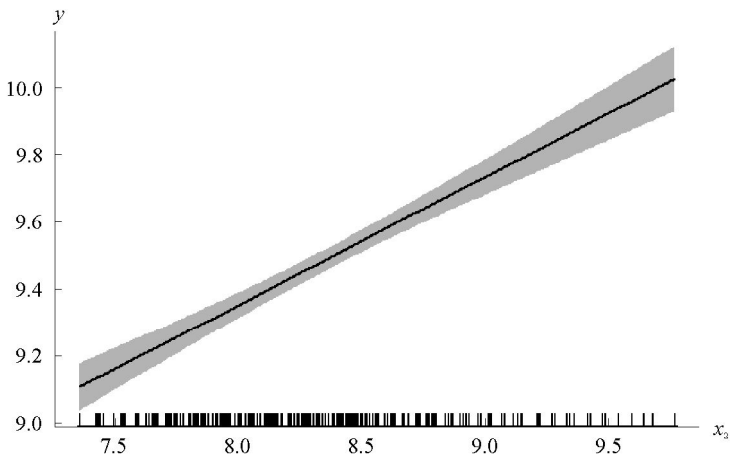


图 7 土地生态价值与农村居民人均纯收入拟合曲线图

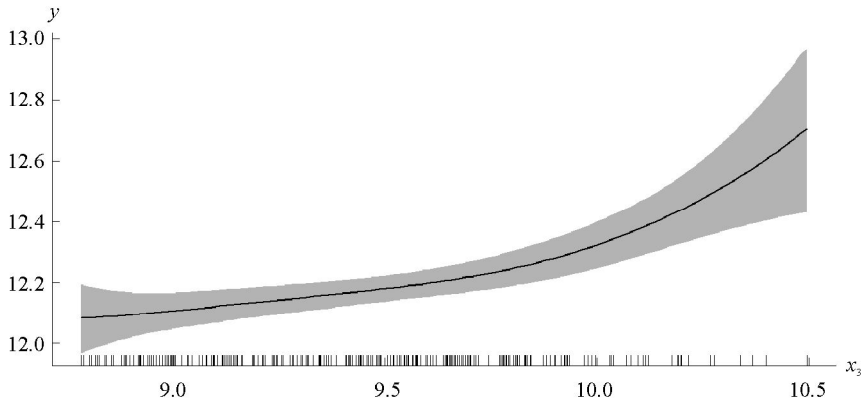


图 8 土地生态价值与城镇居民家庭可支配收入拟合曲线图(加入控制变量)

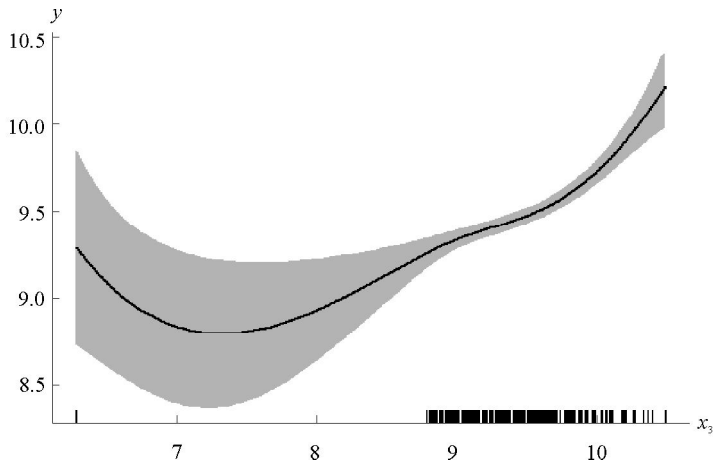


图 9 土地生态价值与城镇居民家庭可支配收入拟合曲线图

从表 3 中非参部分的结果看,模型 1、模型 2、模型 3 的自由度分别为 2.715、1.525、2.442,拟合时自由度越高,拟合函数越不光滑;模型 1、模型 2、模型 3 的 spar 值分别为 4.68、5.707、2.268, spar 值为模型的平滑参数,平滑参数为平滑误差和偏误差的比值,即 σ_ε^2 与 σ_u^2 的比值,平滑参数越大,拟合函数越光滑,从这些数值中可以判断,模型的拟合效果较好。

图 4 是在加入其他控制变量时单位土地生态价值与人均地区生产总值的拟合曲线图,图 5 是单独考虑单位土地生态价值与人均地区生产总值的拟合曲线图;图 6 是在加入其他控制变量时单位土地生态价值与农村居民人均纯收入的拟合曲线图,图 7 是单独考虑单位土地生态价值与农村居民人均纯收入的拟合曲线图;图 8 是在加入其他控制变量时单位土地生态价值与城镇居民家庭人均可支配收入的拟合曲线图,图 9 是单独考虑单位土地生态价值与城镇居民家庭人均可支配收入的拟合曲线图。

从图 4、图 6 以及图 8 的土地生态价值与人均地区生产总值、农村居民人均纯收入、城镇居民家庭人均可支配收入的拟合曲线图可以看出,在样本期内,随着人均地区生产总值、农村居民收入以及城镇居民收入的上升,单位土地生态价值也随之增加,且单位土地生态价值随着城镇居民收入的增加的幅度要更大一些。图 5 的土地生态价值与人均地区生产总值拟合曲线图显示出一定的 U 型曲线关系,图 9 的土地生态价值与城镇居民家庭可支配收入的

拟合曲线图也显示出一定的U型曲线关系。这说明,在经济发展初期,国家政策以促进经济发展为主,生产过程对土地生态功能破坏严重,土地生态价值降低。而随着经济的发展以及居民收入的增加,国家意识到生态保护和环境保护的重要性,会加大生态保护和环境保护方面的投入和管理力度,这从国家的环境污染治理投资总额和工业污染治理投资总额可以看出,2003年国家的环境污染治理投资总额为1 627.7亿元,2012年为8 253.46亿元,2012年是2003年的五倍多;2003年国家的工业污染治理投资总额为221.8亿元,2012年为500.5亿元,2012年是2003年的两倍多;^①此外国家在土地生态保护和环境保护方面的执法力度也有所增强。不仅国家加大了生态保护和环境保护方面的投入和管理力度,居民在生态保护和环境保护方面的意识增强,也有利于土地生态资本积累的增加,这均会促使土地生态价值有所增加。这就验证了假说二是正确的。同时,这也说明,2003年之后国家出台的保护生态和环境的政策法规具有一定的效果,至少说明对土地生态价值的增加具有一定的效果。由于谢高地等(2008)仅给出2002年和2007年各种土地利用类型的单位生态服务价值系数,且因为2003年之后土地分类标准与2002年及以前的土地类型有所调整,这使得更早的土地生态价值不容易计算,但我们至少可以从图5-9的拟合曲线图看出假说一结论的正确性。

六、结论与政策建议

本文首先构建引入土地资本的内生经济增长模型,得出土地生态价值的表达式,探讨了土地生态价值与居民收入之间的关系,并利用自适应半参数回归模型对土地生态价值与人均GDP、人均收入(包括农村居民收入和城镇居民收入)的关系进行计量分析,得出以下结论:(1)在经济发展初期,国家政策以促进经济发展为主,生产过程对土地生态功能破坏严重,土地生态价值降低。(2)随着经济的进一步发展,国家意识到生态保护和环境保护的重要性,会加大生态保护和环境保护方面的投入,这会促使土地生态价值有所增加。(3)随着经济的发展和居民收入的提高,居民在生态保护和环境保护方面的意识增强,土地生态资本的积累增加,国家也有能力加大对生态环境保护的投入,这促使土地的生态价值有所提高。

通过以上结论,本文提出以下政策建议:(1)对土地生态价值进行科学合理的测算。可以利用本文将生态变量和经济变量相结合的方法,对各种利用类型的土地的生态价值进行测算,并且其计算结果要能够随着经济水平和消费水平的提高而动态变化。(2)重视土地生态环境的保护,加大土地生态环境保护的投入,增加土地生态资本积累,提升土地生态价值。改革开放以来,我国经济快速发展,经济总量已居世界第二位,但也产生了环境污染和生态功能破坏严重等问题。因此,国家需要加大生态环境保护方面的投入,增加土地生态资本积累,提升土地生态价值。(3)将提升土地生态价值的目标与转变经济增长方式相结合。我国经济快速发展,使得居民收入大幅增长,居民的生态保护和环境保护意识有所增强,国家的经济发展也处于经济转型时期,可以将提升土地生态价值的目标与转变经济增长方式相结合。例如,可以利用税收或价格等手段限制粗放利用土地的行为,既可以提升土地生态价值,也可以促进经济转型。(4)制定合理的有利于土地生态环境保护的制度。我国环境污染

^①2003年和2012年的环境污染治理投资总额和工业污染治理投资总额数据来源于2003年和2012年的《中国环境统计年鉴》。

的主要来源是企业的废水废气排放,国家需要制定合理的针对减少企业废水废气排放的政策。例如,国家可以探索建立跨区域的生态补偿机制,实现不同地区和不同群体生态利益的公平配置和合理配置。

参考文献:

- 1.包群、邵敏、杨大利,2013:《环境管制抑制了污染排放吗?》,《经济研究》第12期。
- 2.蔡邦成、陆根法、宋莉娟、黄和平、韩尚富、陈克亮,2006:《土地利用变化对昆山生态系统服务价值的影响》,《生态学报》第9期。
- 3.陈美球、赵宝苹、罗志军、黄宏胜、魏晓华、吕添贵、许莉,2013:《基于RS与GIS的赣江上游流域生态系统服务价值变化》,《生态学报》第9期。
- 4.董川永、高俊峰,2014:《太湖流域西部圩区陆地生态系统维持和调节功能量化评估》,《自然资源学报》第3期。
- 5.范金、胡汉辉,2002:《环境Kuznets曲线研究及应用》,《数学的实践与认识》第6期。
- 6.郝慧梅、任志远,2007:《基于生态服务价值的土地利用/覆盖变化生态效应测评》,《资源科学》第6期。
- 7.胡和兵、刘红玉、郝敬锋、安静,2013:《城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的相应》,《生态学报》第8期。
- 8.黄茂兴、林寿富,2013:《污染损害、环境管理与经济可持续增长——基于五部门内生经济增长模型的分析》,《经济研究》第12期。
- 9.李胜兰、初善冰、申晨,2014:《地方政府竞争、环境规制和区域生态效率》,《世界经济》第4期。
- 10.梁欣、臧淑英、张思冲,2006:《基于土地利用变化的生态服务价值损益估算——以大庆市为例》,《自然灾害学报》第2期。
- 11.刘凤良、郭杰,2002:《资源可耗竭、知识积累与内生经济增长》,《中央财经大学学报》第11期。
- 12.刘学录、曹爱霞,2008:《土地生态功能的特点与保护》,《环境科学与管理》第10期。
- 13.史仕新、刘鸿渊,2004:《人力资本、生态资本及技术进步的经济增长模型》,《财经科学》第5期。
- 14.田华文、孟庆香、曲晨晓、张亚丽、王清勤,2008:《土地整理对区域生态系统服务价值的影响分析》,《水土保持研究》第6期。
- 15.谢高地、甄霖、鲁春霞、肖玉、陈操,2008:《一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法》,《自然资源学报》第5期。
- 16.杨继生、徐娟、吴相俊,2013:《经济增长方式与环境和社会健康成本》,《经济研究》第12期。
- 17.姚成胜、朱鹤健、吕晞、刘耀彬,2009:《土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响》,《自然资源学报》第2期。
- 18.姚远、于建丽、张芳、雷磊、江红南,2013:《土地利用变化的人文驱动因子对新疆生态系统服务价值的影响》,《水土保持通报》第5期。
- 19.原玉廷、彭邓民,2013:《刍议马克思土地资本理论与我国土地改革现实——兼论构建中国特色土地经济学理论体系》,《经济问题》第1期。
- 20.庄子银,2004:《高级宏观经济学》,武汉大学出版社。
- 21.Baladandayuthapani, V., B. K. Mallick, and R. Carroll. 2005. "Spatially Adaptive Bayesian Penalized Regression Splines." *Journal of Computational and Graphical Statistics* 14(2): 1-25.
- 22.Charnes, A., W.W. Cooper, and E. Rhodes. 1978. "Measuring the Efficiency of Decision-Making Units." *European Journal of Operational Research* 2(6): 429-444.
- 23.Costanza, R. R., R. d' Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O' Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, and M. van den Belt. 1997. "The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital." *Nature* 387(6630): 253-260.
- 24.Crainiceanu, C. M., D. Ruppert, R. J. Carroll, A. Joshi, and B. Goodner. 2007. "Spatially Adaptive Bayesian Penalized Splines with Heteroscedastic Errors." *Journal of Computational and Graphical Statistics* 16(2): 265-

288.

25. Fontana, V., A. Radtke, V. B. Fedrigotti, U. Tappeiner, E. Tasser, S. Zerbe, T. Buchholz. 2013. "Comparing Land-use Alternatives: Using the Ecosystem Services Concept to Define a Multi-criteria Decision Analysis." *Ecological Economics* 93: 128–136.
26. Krivobokova, T., C. M. Crainiceanu, and G. Kauermann. 2008. "Fast Adaptive Penalized Splines." *Journal of Computational and Graphical Statistics* 17(1): 1–20.
27. Lang, S., and A. Brezger. 2004. "Bayesian P-splines." *Journal of Computational and Graphical Statistics* 13(1): 183–212.
28. Ruppert, D., M. P. Wand, and R. J. Carroll. 2003. *Semiparametric Regression*. New York: Cambridge University Press.
29. Selden, T. M., and D. Q. Song. 1995. "Neoclassical Growth, the J Curve for Abatement, and the Inverted U Curve for Pollution." *Journal of Environmental Economics and Management* 29(2): 162–168.
30. Wang, Y. C., and Y. C. Chuang. 2011. "Environmental Resilience and Economic Growth: Command Economy's Optimization and Environmental Kuznets Curve." *Economic Modeling* 28(6): 2854–2861.

The Relationship between Ecological Value of Land and Income of Residents: An Analysis Based on the Endogenous Economic Growth Model with Introduction of Land Capital

Tang Maogang¹, Wang Keqiang¹ and Liu Hongmei²

(1: School of Public Economics & Administration, Shanghai University of Finance & Economics;
2: School of Finance and Business, Shanghai Normal University)

Abstract: This paper develops an endogenous economic growth model with the introduction of land capital firstly, and the empirical analysis of the relationship between ecological value of land and income of residents is carried out by using the adaptive semi-parametric regression model. This paper draws the following conclusions: (1) In the early stage of economic development, national policies promote economic development mainly, and the enterprises in the production process cause serious damage on the ecological function of land. Therefore, the ecological value of land decreases. (2) Along with the further development of the economy, the governments are aware of the importance of eco-environmental protection, and will increase investment in ecological protection. At the same time, the consciousness of residents in eco-environmental protection increases, and will accumulate ecological capital of land. This impels the ecological value of land to be increased. This paper gives the following policy recommendations: (1) We should establish the evaluation index system of land ecological value. (2) We should increase the accumulation of land ecological capital and improve the ecological value of land. (3) We should combine the objective of improving the ecological value of land with the transformation of economic growth mode. (4) We should develop a reasonable system for the protection of land eco-environment.

Keywords: Ecological Value of Land, Dynamic Optimization, Spatial Heterogeneity, Adaptive Semi-parametric Regression Model

JEL Classification: O13

(责任编辑: 陈永清)