

DOI: 10.5846/stxb201610182126

金贵, 吴锋, 李兆华, 郭柏枢, 赵晓东. 快速城镇化地区土地利用及生态效率测算与分析. 生态学报, 2017, 37(23): 8048-8057.

Jin G, Wu F, Li Z H, Guo B S, Zhao X D. Estimation and analysis of land use and ecological efficiency in rapid urbanization area. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(23): 8048-8057.

快速城镇化地区土地利用及生态效率测算与分析

金 贵^{1,2,3,4}, 吴 锋^{1,3,*}, 李兆华^{2,4}, 郭柏枢², 赵晓东²

1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

2 湖北大学资源环境学院, 武汉 430062

3 中国科学院农业政策研究中心, 北京 100101

4 区域开发与环境响应湖北省重点实验室, 武汉 430062

摘要: 如何以较小的生态资源损耗获得较大的经济社会效益, 是我国新型城镇化与生态文明建设关注的核心议题之一。以快速城镇化的湖北省为典型研究区, 引入随机前沿分析 (Stochastic Frontier Analysis, SFA) 测度各县域的土地利用效率、生态绩效指数和生态效率。结果表明: (1) 对比分析非约束模型与约束模型的检验结果可知, 前者在本研究中有更好的解释能力, 加入生态变量后县域土地利用效率平均值增加 1.4%; (2) 湖北省县域土地利用效率平均值为 0.882, 土地利用效率总体水平较高, 且生态绩效指数 (Ecological Performance Index, EPI) 大于 0 的县域占 75.73%, EPI 随着土地利用效率 (Land Use Efficiency, LUE) 的增加表现出先增后减的倒 U 型变化; (3) 湖北省县域的生态效率 (Ecological Efficiency, EE) 分布在 0.778—0.989 之间, 空间格局特征明显, 效率高值县域在空间上呈现出以武汉城市圈和沿长江、汉江为点轴的 A 型分布特征。本研究揭示了快速城镇化区域土地利用、生态系统和经济效益之间的关系, 可为新型城镇化发展、土地资源高效利用和生态资源保护提供参考。

关键词: 土地利用效率; 生态效率; 植被覆盖; SFA; 城镇化; 湖北省

Estimation and analysis of land use and ecological efficiency in rapid urbanization area

Jin Gui^{1,2,3,4}, Wu Feng^{1,3,*}, Li Zhaohua^{2,4}, Guo Baishu², Zhao Xiaodong²

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

2 Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China

3 Center for Chinese Agricultural Policy, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

4 Hubei Province Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response, Wuhan 430062, China

Abstract: One of the core issues of the new urbanization and ecological civilization construction is developing strategies for obtaining larger economic and social benefits with smaller ecological resource loss in China. In this study, Hubei Province, which has rapid urbanization, was considered a typical case area, and the stochastic frontier analysis (SFA) was used to measure the land use efficiency, ecological performance index, and ecological efficiency of each county in Hubei Province. The following results were obtained in this study. (1) We found that the non-constrained model had a better explanatory power than the constrained model did and the average land use efficiency increased by 1.4% after the addition of the ecological variable. (2) The average land use efficiency of Hubei Province was 0.882, whereas the overall land use efficiency was high and the counties with ecological performance indexes (EPIs) greater than 0 accounted for 75.73%. Furthermore, an increase in land use efficiency (LUE) resulted in EPI values showing inverted U-shape changes that first

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41501593, 71225005); 中国博士后科学基金 (2015M581163)

收稿日期: 2016-10-18; 修订日期: 2017-04-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wufeng@igsnrr.ac.cn

increased and then decreased. (3) The ecological efficiency (EE) of the counties of Hubei Province were between 0.778 and 0.989 and showed an obvious characteristic spatial pattern. In addition, the high-efficiency counties showed “A” type distribution characteristics that indicated the Wuhan metropolitan region was the point whereas the Yangtze River and Hanjiang River were on the axis. This study revealed that the relationship between land use, ecological system, and economic benefit in rapid urbanization area could provide a reference for new urbanization development, efficient utilization of land resources, and strategies for protecting ecological resources.

Key Words: land use efficiency; ecological efficiency; vegetation cover; SFA; urbanization; Hubei Province

土地绩效核算是解决快速城镇化过程中生态效益与经济效益权衡的有效方法之一。20 世纪 90 年代以来,中国土地利用变化格局逐步形成了以开垦与退耕、过牧与退牧、毁林与造林和快速城镇化为代表的 4 种类型^[1]。其中,快速城镇化地区建设用地扩张对生态系统格局产生重大影响,改变生态系统服务功能、影响人类的福祉^[2]。该类区域经济持续增长的同时,生态资源过度消耗、生态环境急剧恶化^[3],如何以最小的生态要素投入获得最大的经济效益产出成为城镇发展转型研究的热点议题。在国外,学者们由最初的产业生产技术效率分析逐步转向可持续发展前提下的土地利用效率评估^[4]。Charnes 等基于统计数据分析城市化效率及其影响因素^[5],Nagi 等学者解析了土地资源在经济社会发展中的作用,并探讨如何通过提高土地利用效率来促进社会经济效益的提高^[6]。在国内,相关研究从区域经济或者工业部门技术效率测算扩展到城市化效率、土地利用效率评估等方面,分析城市群生态效率及影响因素^[7]、土地利用生态效率及其对生态的影响^[8]等。在模型方法上,数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)和 SFA 两类模型应用最为广泛。前者是一种非参数方法,研究多投入、多产出问题,不考虑随机因素对技术效率的影响,且前沿面固定^[9];后者考虑了随机因素的影响,能分析技术效率的影响因素,在研究技术效率时相较前者更有优势^[10]。尽管 SFA 模型在国内经济或工业部门技术效率测算中被广泛的使用,但国内城市化效率、土地利用效率或者生态效率的研究却鲜有应用^[11-12]。在指标体系构建方面,生态环境效率分析的投入指标一般分为资源类和污染类,产出指标为经济产值^[7,13];城市化效率投入指标基本为劳动力、资本及土地,产出为经济产值或城市化率等^[14-15];土地利用效率的投入指标多为劳动力、资本和土地,产出为经济总量^[16-17];生态环境效率、城市效率和土地利用效率的指标差异较大。因此,本文以湖北省为典型案例区,引入 SFA 定量测算土地利用效率、生态绩效指数和生态效率,并在传统指标体系的基础上加入生态变量,揭示研究区土地利用、生态系统、经济效益之间的关系,及其效率的空间分布规律,为湖北省城镇化转型发展提供决策参考。

1 研究区概况

湖北省位于我国中部,长江中游,地处 108°21'42"—116°07'50"E、29°01'53"—33°6'47"N,包括 103 个县(市、区),国土总面积 18.59 万 km²,其中山地占 56%,丘陵占 24%,平原占 20%。近年来,湖北省社会经济发展迅速,2015 年城镇化率达到 55.67%,地区生产总值为 29550.19 亿元,较 2014 年增长 8.9%,经济总量居中部第 2 位。中部地区是目前我国城镇化快速崛起的重要区域之一,湖北作为中部地区的重要省域,城镇化发展正进入一个新的阶段,尤其是“资源节约型与环境友好型”城市圈建设试点以来,逐步形成以经济发展为重心的武汉城市圈和以生态建设为核心的鄂西生态旅游圈。随着经济发展取得较大成就,湖北省生态保育和城镇化发展之间的矛盾也日益凸显,城镇建设用地不断扩张,林地、耕地、草地、水域和其他生态用地锐减,粮食供给能力和生态安全保障能力不断下降。因此,探究湖北省县域土地利用效率、生态效率,及其空间分布规律具有较强的典型性,可为其他快速城镇化地区的相关研究提供参考。

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

本研究数据主要包括社会经济数据、土地利用数据、区位条件数据、植被覆盖数据和其他相关数据等。社

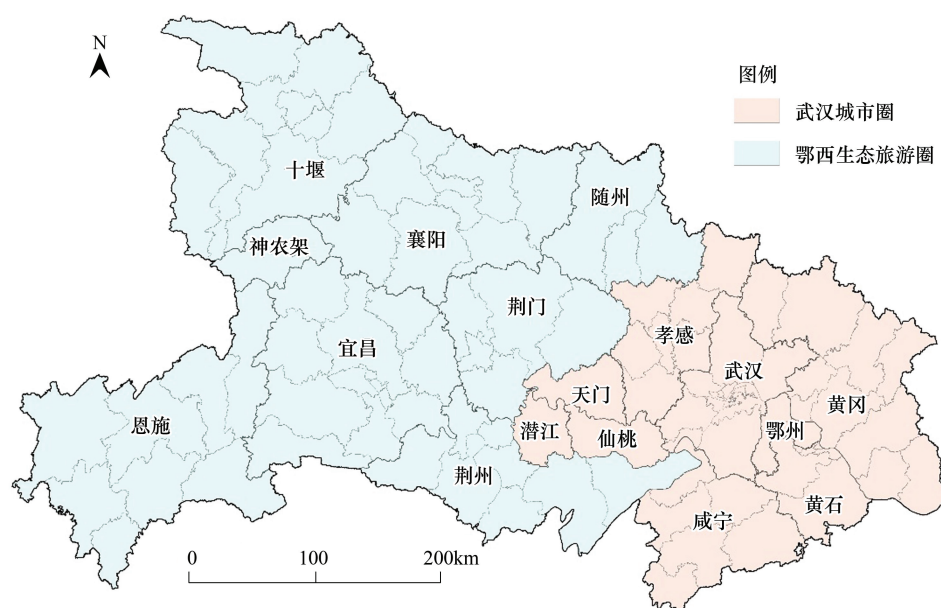


图1 湖北省区位图

Fig.1 Location map of Hubei Province

会经济数据来源于2015年湖北省各市、县统计年鉴;土地利用数据来源于2014年末湖北省土地利用更新数据(1:1万)中各县建设用地规模,该数据主要以航拍影像为基本信息源;区位条件数据是基于2014年末湖北省交通网络图整理得到的动车组站点、交通干线等信息;植被覆盖数据来源于MODIS卫星定量遥感反演的标准数据中的2014年末植被指数产品,经校正、拼接、裁剪等处理步骤计算得到县域尺度的NDVI数据。上述土地利用数据、区位条件数据和植被覆盖数据均通过GIS的数据格式转换、数据链接、空间离散化,空间采样等操作得到不同投入水平的县级数据,并与社会经济数据一起制备成投入产出分析初始数据库。

2.2 研究方法

2.2.1 SFA模型

Meeusen 和 van den Broeck、Aigned 等最早建立了 SFA 模型,使其成为测算技术效率的有效工具^[18]。Battese 和 Coelli 先后提出了改进模型,自此 SFA 得到广泛的应用^[19-20]。确定性前沿生产函数和 SFA 都可以估计生产者的技术效率,前者忽略了随机冲击对生产活动的影响,将生态环境因素的影响都归咎于技术无效率,导致技术效率估计的偏误^[21]。因此,在充分考虑技术无效率因素和难以预期的随机冲击效应的基础上, SFA 模型的表达形式为:

$$y_i = f(x_i; \beta) \cdot \exp(v_i) \cdot \exp(-u_i) \quad (1)$$

式中, $f(x_i; \beta) \cdot \exp(v_i)$ 是随机前沿, $f(x_i; \beta)$ 反映投入与产出间确定性的技术结构关系, $\exp(v_i)$ 是随机因素,揭示随机冲击对生产者的影响。 $\exp(-u_i)$ 为技术效率,具体到本研究是 LUE,表征观察的土地利用产出与处于生产前沿上潜在最大产出的比值,具体公式如下:

$$LUE = \frac{f(x_i, \beta) \cdot \exp(v_i - u_i)}{f(x_i, \beta) \cdot \exp(v_i)} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

2.2.2 投入产出指标体系

投入产出的调查与核算信息是 SFA 模型测算效率的基础。不同的研究目标,指标体系差异较大^[22-24]。为了能够科学测算城镇化地区的土地利用及生态效率,产出指标应源于城镇地区,本研究选取非农产值作为产出指标。投入指标方面,由于城镇化发展主要依赖于资本投入、城镇人口、城市建成区规模、居民收入、产值、区位条件等影响因素,因此投入指标从上述几个方面筛选。另外,由于城镇快速扩张过程中会占用大量的

非建设用地,消耗生态环境资源,导致生态植被覆盖度显著下降^[25],故研究将植被覆盖度指数作为生态投入指标引入到生产函数中。综上所述,结合已有研究成果、相关文献及我国城镇化进程的相关实践^[15, 26-29],同时考虑数据资料的可获取性和湖北省地域特征确定投入产出指标体系(表 1)。

表 1 投入产出指标体系
Table 1 Input-output indicator system

指标类别 Category	指标 Indicator	符号 Symbol	指标说明 Definition of indicator
投入指标 Input indicators	建成区面积	x_1	城镇化发展的土地投入
	非农人口	x_2	人口要素对地区非农经济发展所做的贡献
	固定资产投资总额	x_3	单位投资形成的资本
	上一年非农产值	x_4	历史发展条件和已有基础
	植被覆盖指数	x_5	城镇化发展损耗的生态资源
	城镇人均可支配收入	x_6	城镇人口生活水平
	动车组站点	x_7	交通便捷程度
产出指标 Output indicator	非农产值	Y	非农经济产出

表 1 中, x_1 — x_4 是传统意义的投入指标,表征土地、资本和劳动力等要素对城镇化发展的贡献。 x_5 为生态变量,体现城镇化过程中生态植被用地转化为城镇建设用地而带来的生态系统损失,并由此产生的外部不经济问题,本研究尝试将土地植被覆盖损耗直接作为一项生态投入加入模型中,揭示生态要素投入对土地利用效率的影响机理。 x_6 、 x_7 为城镇人均可支配收入和动车组站点,是作为投入产出模型解释变量加入到方程中,与上述投入变量不同。

2.2.3 经验模型构建

(1) 土地利用效率与生态绩效指数分析。基于上述投入产出指标体系构建投入产出模型,在具体选择生产函数时,较为常用的有柯布道格拉斯和超越对数两类,前者假定技术中性和产出弹性固定,后者放宽了这些假设,增加了二次的项数,可以清楚分析生产函数中投入的相互影响、各种投入技术进步的差异,更适合估计 SFA 模型^[30]。本文选择超越对数函数,假设产出变量为 y ,投入变量一共有 k 种,构建出包含生态变量的 SFA 非约束模型:

$$\ln y = a_0 + \sum_{k=1}^k a_k \ln(x_k) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L a_{kl} \ln(x_k) \ln(x_l) + \sum_{k=1}^k a_k x_k^* + a_z \ln(x_z) + \sum_{k=1}^k a_{kz} \ln(x_k) \ln(x_z) + \frac{1}{2} a_{zz} (\ln(x_z))^2 + v_i - u_i \quad (3)$$

式中, x_k 代表传统投入变量,如劳动力、资本和土地等; x_z 代表生态变量,主要指经济发展过程中会损害的生态环境要素; x_k^* 代表解释变量,如区位因素; v_i 为随机误差项,假设独立同分布 $N(0, \sigma_v^2)$; u_i 为技术无效率误差项,是生产过程中技术无效率造成的产出损失,取值在 0 和 1 之间,独立同分布于半正态随机变量 $u_i \sim N(\mu_i, \sigma_u^2)^+$ 。将上述非约束模型中所有包含生态变量 x_z 项去掉即为约束模型。

进一步,通过极大似然估计(Maximum Likelihood Estimate, MLE)分别获得包含生态变量的 LUE_{xeco} 和不包含生态变量的 LUE_x , 计算出 EPI 值,即

$$EPI = \frac{LUE_i(xeco, y) - LUE_i(x, y)}{LUE_i(x, y)} \quad (4)$$

EPI 大于 0 表示生态要素投入对 LUE 有正向影响, EPI 小于 0 表示生态要素投入对 LUE 有负向影响。EPI 揭示出生态资源投入对土地利用效率提升的影响,体现了地表植被覆盖损失对城镇化发展的贡献程度。

(2) 生态效率测算。引入生态效率概念来测度城市扩张过程中的生态资源对城镇化发展的贡献^[31]。本研究中生态效率指在其他投入和产出都不变的情况下,最小可行生态投入和实际生态投入的比值。为了测算

生态变量的效率,假设特定经济产出保持一定时当生态投入最小时生态效率最高,故在以投入为导向的超越对数生产函数中分别将 x_z , u_i 替换为最小生态投入 x_z' 及其对应的技术无效率误差项 u_i' ,即生态效率最优时得到最小生态投入的生产函数,替换后的 SFA 模型表达式如下:

$$\ln y = a_0 + \sum_{k=1}^k a_k \ln(x_k) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L a_{kl} \ln(x_k) \ln(x_l) + \sum_{k=1}^k a_k x_k^* + a_z \ln(x_z') + \sum_{k=1}^k a_{kz} \ln(x_k) \ln(x_z') + \frac{1}{2} a_{zz} (\ln(x_z'))^2 + v_i - u_i' \quad (5)$$

将替换式(5)减式(3),得到如下形式:

$$\frac{1}{2} a_{zz} (\ln(x_z') - \ln(x_z))^2 + (a_z + a_{zz} \ln(x_z) + \sum_{k=1}^k a_{kz} \ln(x_k)) (\ln(x_z') - \ln(x_z)) - u_i' + u_i = 0 \quad (6)$$

令上式 $a = \frac{1}{2} a_{zz}$, $b = (a_z + a_{zz} \ln(x_z) + \sum_{k=1}^k a_{kz} \ln(x_k))$, $c = -u_i' + u_i$ 。

实际运算一般将 $-u_i'$ 赋值为无限接近 0 的数值,不会对结果特别是数值排序造成影响^[32]。当地区土地利用效率达到最高值和生态效率达到最优状态时得出生态效率 $EE = \frac{x_z'}{x_z}$ 推出 $\ln EE = \ln(x_z') - \ln(x_z)$,公式如下:

$$EE = e^{\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}} \quad (7)$$

3 结果与分析

3.1 SFA 模型结果检验

使用一步估计法估算以非农产值为因变量的 SFA 模型,约束性模型和非约束性模型的检验和回归结果如表 2 所示。

分析可知,土地利用无效率项为随机扰动项的 1.6 倍,占总误差项的 62%,说明本研究中土地利用无效率差异存在,其影响不能被忽略。因此,本研究中通过 SFA 模型分离随机因素和土地利用无效率的处理方法是科学可行的。在 95%置信水平上,非约束模型中生态变量、非农人口、上一年非农产值、固定资产投资总额等参量较约束模型而言显著水平均有所提高。分别用似然比检验(LRT)和赤池信息量准则(AIC)判断:非约束模型的 LRT 值为 53.71,约束模型的 LRT 值为 43.68,说明前者有更好的解释能力;非约束模型的 AIC 为 -57.43,约束模型的 AIC 值为 -49.36,非约束模型数值更小,同样表明非约束模型能更好的揭示城镇化区域土地利用效率。因此,后续 LUE、EPI 和 EI 等分析均基于非约束模型下的结果展开。

3.2 影响要素分析

在本研究的生产函数投入体系之中,除了非农人口和是否有动车组站点要素外,其他投入要素均与非农产值显著相关。就全省县域平均水平而言,增加生态要素则非农产值会显著提高,说明城镇扩张占用耕地、林地、草地等生态资源短时期内会大幅增加经济收益。非农人口数量与非农产值显著正相关,在湖北省多数经济不发达的县域经济体实际背景下,劳动密集型产业是城镇化地区产值的主要来源,非农人口规模既能客观体现区域人口城镇化水平,也可以反映出二、三产业劳动力的充足与否。城市建成区面积与非农产值显著负相关,说明大部分县域城镇土地利用效益偏低,经济发展落后县域盲目建设或扩建经济开发区,这种摊大饼式的发展导致大量土地资源浪费,单位面积土地产出率不高。全社会固定资产投资总额与非农产值显著正相关,可见将投资作为促进经济发展的手段对湖北省多数县域依然有作用,但在今后城镇化发展转型中应不断提升全要素生产率、完善基础设施建设、增强产业科技化水平和优化产业结构。上一年非农产值对下一年非农产值的正向影响尤为显著,说明城镇化发展过程中前一年的生产活动会影响后一年的生产活动,县域经济产出的历史积累会推动地区的整体发展和进步。

表 2 土地利用效率 SFA 模型 MLE 结果

Table 2 The MLE results of land use efficiency based on SFA model

变量 Variable	非约束模型 Unconstrained model	约束模型 Constraint model	变量 Variable	非约束模型 Unconstrained model	约束模型 Constraint model
$\ln(x_1)$	-0.417 *** (-6.33)	-0.394 *** (-7.86)	$\ln(x_2) \ln(x_3)$	-0.0494 (-1.31)	0.0117 (0.30)
$\ln(x_2)$	0.120 * (1.67)	0.0958 (1.33)	$\ln(x_2) \ln(x_4)$	-0.0292 (-1.03)	-0.0453 (-1.44)
$\ln(x_3)$	0.257 *** (2.68)	0.325 *** (3.27)	$\ln(x_2) \ln(x_5)$	0.0904 *** (3.32)	
$\ln(x_4)$	1.021 *** (11.11)	0.986 *** (10.25)	$\ln(x_3) \ln(x_4)$	-0.127 ** (-2.29)	-0.137 ** (-2.24)
$\ln(x_5)$	0.189 ** (2.33)		$\ln(x_3) \ln(x_5)$	0.156 *** (2.99)	
$0.5 \times (\ln(x_1))^2$	-0.101 *** (-3.33)	-0.143 *** (-7.66)	$\ln(x_4) \ln(x_5)$	-0.114 *** (-2.61)	
$0.5 \times (\ln(x_2))^2$	0.0266 * (1.91)	0.0171 (1.12)	x_6	-0.388 ** (-2.46)	-0.191 (-1.31)
$0.5 \times (\ln(x_3))^2$	0.0383 *** (3.83)	0.0169 *** (2.59)	x_7	-0.0668 * (-1.87)	-0.0886 ** (-2.31)
$0.5 \times (\ln(x_4))^2$	0.139 *** (3.80)	0.153 *** (3.76)	_cons	0.560 *** (3.37)	0.375 ** (2.48)
$0.5 \times (\ln(x_5))^2$	0.0179 (0.54)		lnsig2v_cons	-4.515 *** (-12.90)	-4.360 *** (-11.48)
$\ln(x_1) \times \ln(x_2)$	-0.0329 (-0.91)	0.0106 (0.32)	lnsig2u_cons	-3.581 *** (-8.17)	-3.337 *** (-7.51)
$\ln(x_1) \ln(x_3)$	0.0777 (1.11)	0.207 *** (3.57)	N	103	103
$\ln(x_1) \ln(x_4)$	0.0279 (0.47)	-0.0822 * (-1.67)	LRT	53.71	43.68
$\ln(x_1) \ln(x_5)$	-0.0761 (-1.58)		AIC	-57.425	-49.359

* $P < 0.1$, ** $P < 0.05$, *** $P < 0.01$, 括号内数值表示 t 统计量

3.3 土地利用及生态效率测算与分析

3.3.1 土地利用效率测算

结合公式(3)一(7)编写 SFA 模型算法,以 Stata 为平台运行 SFA 模型,分别估算出非约束模型下的 103 个县域单元的 LUE 值(表 3)。

对上述 103 个县域的土地利用效率绘制频率分布图(图 2)。LUE 频率分布为正态分布,满足地统计学分析相关要求,故不对 103 个县域 LUE 进行数据转换等处理。进一步,以非约束模型的 LUE 值为基础,由式(4)和(7)测算出全省各县域的 EPI 和 EE 值。

湖北省 103 个县域土地利用效率最大值为 0.973、最小值为 0.623、均值为 0.882。LUE 高值区主要聚集在长江、汉水沿线和高速铁路的串联区域,是武汉城市圈和鄂西生态旅游圈的中心城区,交通便利、经济发展迅速,新兴技术产业、水电产业和新型制造业集聚特征明显。除上述地区以外,部分山区县的土地利用效率也较高,如竹溪县、兴山县、宣恩县等,这些县域受地形地貌条件影响,中心城区平地面积不足,城镇空间扩展受到约束,很大程度上被动提高城镇土地集约利用程度。LUE 低值区主要分布在鄂西生态旅游圈,以及距离省级中心或副中心城市较远的地区,多为矿业、重工业发达的城市或处于乡村旅游发展起步阶段的县域,并不一定

表 3 湖北省各县域土地利用效率

Table 3 Land use efficiency of counties in Hubei Province

县域单元 County unit	土地利用效率 LUE	县域名称 County unit	土地利用效率 LUE	县域名称 County unit	土地利用效率 LUE
黄石港区	0.901	钟祥市	0.904	五峰县	0.863
阳新县	0.790	公安县	0.911	伍家岗区	0.930
铁山区	0.777	松滋市	0.893	兴山县	0.952
西寨山区	0.908	江陵县	0.922	夷陵区	0.929
大冶市	0.840	沙市区	0.824	宜都市	0.884
下陆区	0.973	洪湖市	0.953	当阳市	0.933
团风县	0.862	监利县	0.966	枝江市	0.925
武穴市	0.866	石首市	0.864	点军区	0.917
浠水县	0.927	荆州区	0.903	猇亭区	0.752
红安县	0.803	仙桃市	0.891	西陵区	0.886
罗田县	0.827	天门市	0.880	秭归县	0.882
英山县	0.873	潜江市	0.872	远安县	0.894
蕲春县	0.857	神农架林区	0.865	长阳县	0.905
麻城市	0.925	东西湖区	0.887	云梦县	0.935
黄州区	0.623	新洲区	0.885	大悟县	0.874
黄梅县	0.785	武昌区	0.918	孝南区	0.659
广水市	0.869	汉南区	0.901	安陆市	0.940
曾都区	0.925	汉阳区	0.948	汉川市	0.907
随县	0.930	江夏区	0.900	应城市	0.871
华容区	0.907	江岸区	0.879	咸安区	0.795
梁子湖区	0.901	江汉区	0.836	嘉鱼县	0.844
鄂城区	0.926	洪山区	0.926	崇阳县	0.841
保康县	0.946	黄陂区	0.919	赤壁市	0.922
南漳县	0.923	青山区	0.899	通城县	0.820
宜城市	0.902	蔡甸区	0.892	通山县	0.785
枣阳市	0.935	硚口区	0.845	丹江口市	0.861
樊城区	0.928	利川市	0.921	张湾区	0.862
老河口市	0.888	咸丰县	0.873	房县	0.877
襄城区	0.920	宣恩县	0.930	竹山县	0.849
襄州区	0.929	巴东县	0.901	竹溪县	0.952
谷城县	0.896	建始县	0.909	郧西县	0.846
东宝区	0.888	恩施市	0.923	郧县	0.654
京山县	0.878	来凤县	0.874	茅箭区	0.748
掇刀区	0.912	鹤峰县	0.923	孝昌县	0.888
沙洋县	0.945				

是某个市域内经济发展较落后的县域,如铁山区、猇亭区和竹山县等,这些县域城镇用地迅速扩张,大都建有经济技术开发区、工业园区或风景区,降低了土地集约利用程度。一般而言,所有市域范围内总有一些县域的土地利用效率较高,另一些县域的土地利用效率相对较低,县域间存在明显不均衡。发挥各县域地区特色,避免区域内土地、资本、劳动力和生态资源的不合理使用是提高土地利用效率、促进经济发展、保护生态环境的重要方式。

湖北省 25 个县域 EPI 小于 0,占 24.27%,78 个县域 EPI 大于 0,占 75.73%(图 3)。从整个城镇化发展的投入产出系统来看,EPI 大于 0 的县域,植被资源消耗对城镇经济发展有正向贡献;EPI 小于 0 的县域,尽管在城镇化发展过程中也消耗了大量的植被资源,但却对城镇经济发展没有显著贡献。整体而言,全省大部分县

域的生态植被损耗对城镇化发展的贡献明显,尤其是生态环境本底质量越好的县域单元,其植被资源消耗产生的经济价值越高。绿色发展战略和严格的环境保护制度要求生态资源损耗应充分转化为相应的社会经济价值。

进一步,分析 LUE 与 EPI 之间的相互关系(图 4)可知,县域 EPI 低于平均水平时,LUE 越大,则 EPI 越高。EPI 随着 LUE 的增加出现先增加后减少的倒 U 型变化,说明 LUE 较低县域的植被资源对生态生产功能和土地利用效率模型有更显著的正面影响,也意味着植被资源投入对土地利用效率高的县域而言并不十分重要。

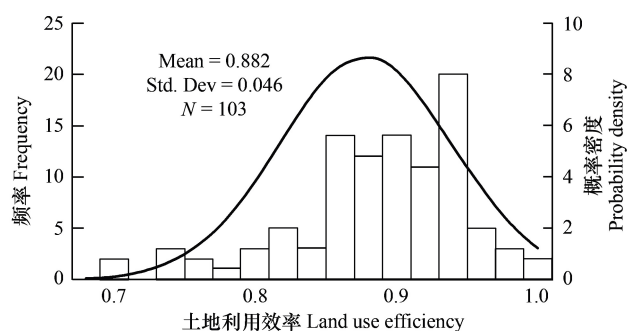


图 2 土地利用效率频率分布直方图

Fig.2 Frequency histogram of land use efficiency

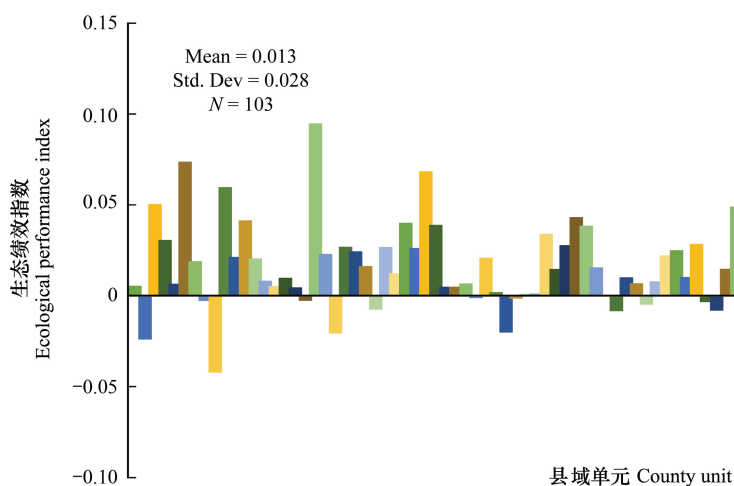


图 3 县域生态绩效指数图

Fig.3 Ecological performance index in county scale

3.3.2 生态效率空间分布

根据非约束模型下的 LUE 测算出湖北省各县域 EE,最大值为 0.989、最小值为 0.778、均值为 0.871。EE 值与快速城镇化过程中对生态植被资源的开发利用有关,其值越大表明城镇化发展所付出的生态代价越低。因此,当前湖北省各县域城镇化发展并不存在过度消耗生态植被资源的情况,生态植被资源作为城镇化发展的投入要素没有被过度浪费,被破坏的生态植被资源大都高效转化为经济产值。

尽管各县域 EE 数值普遍较高,但仍存在显著的空间分异规律。采用自然断点法对非约束模型下 EE 数值进行分级(图 5),将生态效率分为 4 种类型。整体而言,湖北省县域生态效率呈现出由东(城市圈)向西(生态旅游圈)从高到低的 A 型分布,基本与《湖北省城镇化与城镇发展战略规划(2012—2030)》中的城镇发展点轴形态相一致。武汉城市圈生态效率整体上普遍高于鄂西生态旅游圈,说明相较生态圈而言,城市圈县域的生态用地转化为建设用地后可以产生更多的经济效

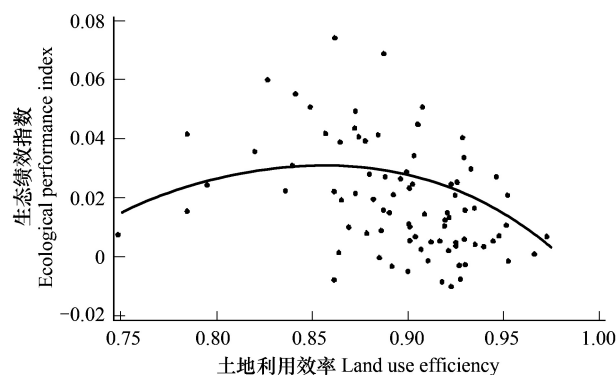


图 4 LUE 和 EPI 关系散点图

Fig.4 Scatter diagram between LUE and EPI

十分重要。湖北省县域城镇化发展并不存在过度消耗生态资源的情况,植被资源作为城镇化发展的投入要素没有被过度浪费,被破坏的生态植被资源大都高效转化为经济产值。县域生态效率呈现出由东向西从高到低的 A 型分布,且武汉城市圈生态效率整体上普遍高于鄂西生态旅游圈。

研究将植被覆盖度指数作为生态变量引入到 SFA 生产函数中揭示生产要素投入、土地利用效率提升和生态损耗之间的关系,为快速城镇化地区的系统研究提供了新视角。本研究为进一步开展长时间序列的城镇化地区土地利用及生态效率分析,及其在空间上集聚特征和分布规律提供了核算方法。同时,土地效率精确核算可有效衔接国民经济社会发展规划与土地利用规划的用地指标,服务区域社会经济与生态环境的协调发展。

参考文献 (References):

- [1] 刘纪远,刘明亮,庄大方,张增祥,邓祥征. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. 中国科学(D 辑), 2002, 32(12): 1031-1040.
- [2] 傅伯杰,张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.
- [3] 金贵,王占岐,姚小微,杨俊. 国土空间分区的概念与方法探讨. 中国土地科学, 2013, 27(5): 48-53.
- [4] Krainer J. Economics, real estate and the supply of land, edited by Alan W. Evans. Journal of Regional Science, 2006, 46(4): 796-798.
- [5] Charnes A, Cooper W W, Li S L. Using data envelopment analysis to evaluate efficiency in the economic performance of Chinese cities. Socio-Economic Planning Sciences, 1989, 23(6): 325-344.
- [6] Ngai L R. Barriers and the transition to modern growth. Journal of Monetary Economics, 2004, 51(7): 1353-1383.
- [7] 付丽娜,陈晓红,冷智花. 基于超效率 DEA 模型的城市群生态效率研究——以长株潭“3+5”城市群为例. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(4): 169-175.
- [8] 游和远,吴次芳,林宁,沈萍. 基于数据包络分析的土地利用生态效率评价. 农业工程学报, 2011, 27(3): 309-315.
- [9] 丁文桓,冯英浚,康宇虹. 同时面向投入和面向产出的一种数据包络分析(DEA)模型. 数量经济技术经济研究, 2001, 18(11): 41-44.
- [10] 黄珂,陈竹,张安录. 基于前沿分析法的武汉城市圈农地城市流转效率研究. 中国土地科学, 2014, 28(7): 24-30.
- [11] 臧正,邹欣庆. 中国大陆省际生态-经济效率的时空格局及其驱动因素. 生态学报, 2016, 36(11): 3300-3311.
- [12] 关忠诚,杨志,李宇红,汪飏翔. SFA 在研究所技术效率评估中的应用. 科研管理, 2009, 30(6): 152-155.
- [13] 杨斌. 2000—2006 年中国区域生态效率研究——基于 DEA 方法的实证分析. 经济地理, 2009, 29(7): 1197-1202.
- [14] 万庆,吴传清,曾菊新. 中国城市群城市化效率及影响因素研究. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(2): 66-74.
- [15] 张明斗,周亮,杨霞. 城市化效率的时空测度与省际差异研究. 经济地理, 2012, 32(10): 42-48.
- [16] 杨海泉,胡毅,王秋香. 2001—2012 年中国三大城市群土地利用效率评价研究. 地理科学, 2015, 35(9): 1095-1100.
- [17] 张荣天,焦华富. 长江经济带城市土地利用效率格局演变及驱动机制研究. 长江流域资源与环境, 2015, 24(3): 387-394.
- [18] 陶长琪,王志平. 随机前沿方法的研究进展与展望. 数量经济技术经济研究, 2011, 28(11): 148-161.
- [19] Battese G E, Coelli T J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. Journal of Productivity Analysis, 1992, 3(1/2): 153-169.
- [20] Battese G E, Coelli T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. Empirical Economics, 1995, 20(2): 325-332.
- [21] 程慧平. 基于 DEA 和 SFA 方法的信息服务业技术效率研究. 科学学与科学技术管理, 2013, 34(4): 28-34.
- [22] 金贵,王占岐,胡学东,胡守庚,张道军. 基于模糊证据权模型的青藏高原区土地适宜性评价. 农业工程学报, 2013, 29(18): 241-250.
- [23] 胡求光,李洪英. R&D 对技术效率的影响机制及其区域差异研究——基于长三角、珠三角和环渤海三大经济区的 SFA 经验分析. 经济地理, 2011, 31(1): 26-31.
- [24] 盛垒. 中国省区间的外资 R&D 知识溢出及其空间差异研究——基于随机前沿生产模型(SFA)的实证. 人文地理, 2013, 28(5): 105-116.
- [25] 盛莉. 快速城市化背景下城市热岛对土地覆盖及其变化的响应关系研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [26] 马勇,刘军. 长江中游城市群产业生态化效率研究. 经济地理, 2015, 35(6): 124-129.
- [27] 罗能生,李佳佳,罗富政. 中国城镇化进程与区域生态效率关系的实证研究. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(11): 53-60.
- [28] 孙东琪,张京祥,张明斗,于正松,胡毅,周亮. 长江三角洲城市化效率与经济发展水平的耦合关系. 地理科学进展, 2013, 32(7): 1060-1071.
- [29] 戴永安. 中国城市化效率及其影响因素——基于随机前沿生产函数的分析. 数量经济技术经济研究, 2010, 27(12): 103-117, 132-132.
- [30] 牛品一,陆玉麒,彭倩. 江苏省生产效率与全要素生产率分解的空间格局演变分析. 经济地理, 2012, 32(11): 27-33.
- [31] 黄和平. 基于生态效率的江西省循环经济发展模式. 生态学报, 2015, 35(9): 2894-2901.
- [32] Reinhard S, Lovell C A K, Thijssen G. Econometric estimation of technical and environmental efficiency: an application to dutch dairy farms. American Journal of Agricultural Economics, 1999, 81(1): 44-60.