

多维度城镇化对生态系统服务价值影响的 空间溢出效应*

吴楷升 王东 路海艳

(哈尔滨工业大学(深圳)经济管理学院, 广东 深圳 518055)

[摘要] 快速城镇化导致生态系统结构的变化, 而生态系统服务价值是衡量城镇化生态效应的综合指标。城镇化涉及人口迁移、经济增长、土地利用变化和产业升级, 将其简单分为人口、经济和土地城镇化具有一定局限性。本文通过构建多维度城镇化指标, 将产业城镇化作为单独指标进行考虑; 同时, 使用全新构建的“生态元”指标统一量化表征生态系统服务价值。本文选取2005、2010、2015和2020年全国城市层面数据, 使用空间杜宾模型(SDM), 探讨人口、土地、经济和产业城镇化等维度对生态系统服务价值影响的空间溢出效应。结果表明: 从直接效用来看, 土地城镇化是影响本市生态服务价值的主要因素, 而人口、经济城镇化为次要因素。从溢出效用来看, 人口和土地城镇化对生态元具有空间溢出效应, 而经济城镇化未表现出空间溢出效应; 在产业城镇化中, 第一、二产业对生态元具有空间溢出效应, 而第三产业未表现出空间溢出效应。城市第一产业发展本身对生态元发展具有正向促进作用, 第一产业规模化可能促进周围城市的农业发展, 进而提高周围城市的生态元。根据研究结论建议: 注重土地紧凑集约化发展, 在合理规划城市布局的基础上, 优化土地利用结构, 促进土地的混合利用; 政府对城市生态系统服务价值的考评不仅要考虑城市层面, 也应考虑宏观区域层面。

[关键词] 生态系统服务价值 生态元 多维度城镇化 空间溢出效应

[中图分类号] X915.2; D035.29 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2096-983X(2023)03-0079-10

一、引言

生态系统服务是指人类通过直接或者间接的方式从生态环境中获得的收益,^[1-2]这些收益会影响人类的健康、生存和娱乐。生态系统服务价值是衡量生态环境价值的一种较为常用的

方法,^[3]多分为供给服务、调节服务、支持服务以及文化服务; 从生态系统种类来看, 包含草地、森林、湿地、耕地等。

实现“绿水青山就是金山银山”的前提是核算清楚生态系统服务价值。由于生态系统的复杂性和多样性, 学者采用了不同方法来核算

收稿日期: 2022-05-16; 修回日期: 2023-03-06

*基金项目: 深圳市海外高层次人才项目“基于大数据粤港澳大湾区城市更新减排策略研究”; 深圳低碳城市大数据工程实验室项目(深发改[2017]1089号); 应对气候变化与低碳经济学科建设项目(深发改[2018]725号)

作者简介: 吴楷升, 硕士研究生, 主要从事低碳金融、环境经济等研究; 王东, 教授, 博士研究生导师, 主要从事区域经济、低碳经济等研究; 路海艳, 助理教授, 硕士研究生导师, 主要从事区域发展研究。通讯作者: 路海艳, luhaiyan@hit.edu.cn。本文特别感谢刘耕源教授的指导和提供的数据资源, 计军平副教授的宝贵建议, 鲁成泽博士的帮助。

生态系统服务价值,基于不同的核算方法得出的结论易产生较大的差异,尤其是有二级市场价格的供给服务无法简单用市场定价方法调节服务等进行加和或比较,使得生态系统服务价值的核算方法尚未达成共识。近年来,基于能值方法的生态系统服务价值核算尝试解决以上问题。^[4]能值(emergy)是产品或服务形成过程中直接或间接投入的一种能量总量。“生态元”选择太阳能值作为核算量纲,将“生态元”作为核算基本单位,核算未受人类活动影响的初始状态下生态系统服务对应的“生态元”;然后分别考虑环境污染和生态环境治理对生态系统服务价值的影响,对“生态元”进行减值和增值调整;最后运用市场交易方式对核算的“生态元”进行货币化定价。该方法可以对生态资产及服务(尤其是“货币化”失灵的调节服务)进行能量学定价,后期再与货币相链接。^[5]

生态系统服务价值本身具有复杂性和多样性,其变化受到多种因素的影响。在宏观层面上,主要分为自然因素和人类因素。自然因素包括了平均降雨量、平均气温、坡度、林地占比面积等;而人类因素包括人口密度、经济发展、建成区面积、人类活动强度和产业结构等。在时空尺度上,生态系统服务价值变化主要归因于土地利用或土地覆盖变化。^[6-7]因此,从本质上来讲,人类因素对生态环境的改变主要是通过改变土地利用或者土地覆盖,进而影响生态系统服务。^[8-9]

人类因素对生态环境改变集中体现在城镇化过程中。城镇化是指随着农业人口向非农人口转变、农业用地向非农用地转变、非经济活动向经济活动转变的过程。具体来讲,城市边界扩张会改变景观格局,使大量的土地转变为居民用地或者生产用地,^[10]间接导致生态系统服务价值改变,因此,城镇化是影响生态系统服务的重要影响因素。

在生态系统服务价值和城镇化的关系中,一些学者将城镇化分为经济、土地和人口等维度。^[11]然而,城镇化涉及人口迁移、经济增长、

土地利用变化和产业升级,将其简单分为三个方面具有一定局限性,即忽视了产业城镇化的作用。目前研究大都将产业城镇化融入经济城镇化,没有关注产业城镇化对生态系统服务价值的作用。很多文章通过耦合方法研究城镇化综合指标与生态系统服务价值的关系,其经济城镇化的二级指标往往包含人均GDP、第二或第三产业占比。^[12-13]将产业维度的城镇化作为经济城镇化子指标没有体现不同产业变化对生态系统服务价值的作用。本文将产业作为城镇化的单独维度,探讨在产业结构变化过程中各产业变化对生态系统服务影响的空间机制。

综上所述,目前研究中存在以下短板。一是很多研究都强调城镇化空间溢出效应的重要性,^[14]但较少研究关注城镇化对生态系统服务价值作用的溢出效应。外部性对城市生态系统价值服务的作用有时比城市内城镇化变化更值得探讨。二是城镇化指标构建常没有考虑产业城镇化,忽视了产业结构变化与生态系统服务价值之间的关系。因此,本文调整城镇化维度,将产业城镇化作为单独子维度进行分析。三是本文拟采用能值法测量生态系统服务价值,并选用生态元作为代理变量,研究生态系统服务价值与多维度城镇化之间的关系。本文选取2005、2010、2015和2020年279个城市的数据,通过空间杜宾模型分析城镇化不同维度对生态系统服务价值影响的空间溢出效应。本文其余部分内容安排如下:第二部分是材料和方法,第三部分是实证结果与分析,第四部分是结论,并提出相应的政策建议。

二、材料与方法

(一)数据来源

本文的数据来源主要有四个。(1)2005、2010和2015年的各城市生态元数据来自于《基于“生态元”的全国省市生态资本服务价值核算排序评估报告发布》,^[5]2020年各城市生态

元数据由生态元研究课题组提供。(2) 2005、2010、2015和2020年的全国土地利用类型遥感监测空间分布数据(1km×1km范围)来源于资源环境科学与数据中心。(3) 城镇化率、人口总量、GDP总量、第一产业、第二产业、第三产业从业人员、道路里程和财政支出占GDP比重等数据来源于《中国城市统计年鉴》，缺失的数据采用插值法补充。其中，城镇化率缺失的数据采用插值法，该方法是基于基数年份的前后两年已有的数据取中间值法等方法用于补充缺失的数据。(4) 各城市土地面积、建成区面积数据来源于《中国城乡建设统计年鉴》，缺失的数据通过插值法补充。

(二) 主要方法

1. 生态元的核算方法

本文采用基于能值法核算的生态元作为生态系统服务价值的代理变量。具体能值核算方法详见总方法框架与森林生态系统服务核算方法、^[15]水生生态系统服务核算方法、^[16-17]草地生态系统服务核算方法^[18]以及滨海和海洋生态系统服务核算方法。^[19]生态元定义一单位的生态元等于10¹⁰太阳能焦耳,使用变量符号ECOD。生态类型包含林地(有林地、灌木林)、草地(高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地)、湿地(沼泽地、湖泊、水库/坑塘、河流)生态系统等。以草地作为例子,核算方法如下表1所示。

表1 草地生态元核算公式

净初级生产量	$Em_{NPP} = \sum_{i=1}^n (Max(R_i))$	Em_{NPP} 代表了给定区域内 NPP(净初级生产力)所需的能量
直接服务	固碳释氧 $Em_{CS} = \sum \frac{C_i}{T_i} * S_i * UEV_{csi}$	Em_{CS} 表示草原中固碳所需的能量
服务	构建土壤 $Em_{OM} = \sum_{i=1}^n (Em_{NPP} \times K_{1i} \times K_2)$ $Em_{SB} = Em_{OM} + Em_{MIN}$	Em_{OM} 表示用于构建土壤有机质的能量 Em_{MIN} 是用于构建土壤矿物质的能量 Em_{SB} 是土壤构建服务
补给地下水	$Em_{GR} = \sum_{i=1}^n (P_i \times S_i \times \rho \times k_i \times 1000 \times UEV_{wi})$	Em_{GR} 表示用于补充地下水的能量
间接价值	净化大气 $Em_{HH} = \sum_{i=1}^n (M_{ij} \times S_j \times DALY_i) \times \tau_H$ $Em_{EQ} = \sum_{i=1}^n (M_{ij} \times PDF_i \times MAX(R_j))$ $Em_{AP} = Em_{HH} + Em_{EQ}$	Em_{HH} 是用于减少人类健康下降的能量 Em_{EQ} 表示减少生态系统质量恶化所需的能量 Em_{AP} 表示空气净化服务
调节小气候	减少水土流失 $Em_{SR} = \sum_{i=1}^n (G_i \times r_{omi} \times 10^6 \times k_{r1} \times k_{r2} \times UEV_{sl})$ 调节局部小气候 $Em_{mr} = \sum_{i=1}^n (E_{ei} \times S_i \times \rho_w \times 1000 \times (1 - \alpha_i) \times G_w \times UEV_{we})$	Em_{SR} 是土壤保持所需的能量 Em_{mr} 代表用于调节微气候的能量
存在价值	调节气候 $Em_{cr1} = \sum_{i=1}^n C_{ij} \times 0.001 \times DALY_i T_i \times S_j \times \tau_H$ $Em_{cr2} = \sum_{i=1}^n C_{ij} \times 0.001 \times PDF_i T_i \times S_j \times \tau_H$	Em_{cr1} 是草原生态系统中用于调节气候以减少人类健康损失的能量 Em_{cr2} 是草原生态系统中用于调节气候以减少生态系统质量恶化的能量

注: 1. 单位为(SEJ/Y); 2. 直接服务的净化水体、净化土壤核算方法与净化大气类似; 存在价值仅举例调节气候的服务。

2. 自变量和控制变量

本文的自变量包括城镇化率(URBAN)、建

成区面积(CON)、单位面积GDP(GDP)、第一产业占比(PRIMARY)、第二产业占比(SECOND)

和第三产业从业人员 (TERTIARY)。(1)人口城镇化 (URBAN) 参考已有研究,^[20]选择城镇化率反映人口城镇化,即城镇常住人口与总人口的比值;(2)土地城镇化 (CON) 通过土地利用和土地覆盖的变化影响生态系统服务价值,参考已有文献,^[21]选择建成区面积占比作为其代理变量;(3)经济城镇化 (GDP) 是影响生态系统服务价值的重要因素,借鉴文献,^[22]该指标选择单位面积GDP;(4)产业城镇化(分别为PRIMARY、SECOND和TERTIARY)参考相关研究,^[23]本文将不同产业占比作为表征指标,第三产业占比采用第三产业从业人员^①,避免同时加入一、二、三产业占比产生共线性。^[24-25]

控制变量包括土地利用强度 (LUI)、单位道

路里程数 (ROAKS)、人口密度 (POP)、财政支出占比 (EXPEN)。(1)土地利用和土地覆盖会影响生态系统服务价值,参考文献,^[26-27]选取土地利用强度 (LUI) 作为控制变量。(2)道路建设有利于城镇化进程,但会导致景观割裂和生态系统服务降低,参考前人研究,^[28]选择单位道路里程数 (ROAKS) 作为控制变量。(3)人口密度也会影响生态系统服务价值,参考已有研究,^[29]通过人口密度 (POP) 变量来表征,其计算方法为城市常住人口总数除以城市面积。(4)环境财政支出能有效提高环境质量、扭转环境恶化趋势,参考文献,^[30]选择财政支出占GDP比重 (EXPEN) 作为控制变量。通过VIF检验,变量之间不存在多重共线性问题。

表2 变量统计性描述

变量	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
因变量	—	—	—	—	—
ECOD	1116	691.235	946.928	3.300	15957.611
自变量	—	—	—	—	—
URBAN	1116	0.494	0.181	0.010	1.000
CON	1116	0.017	0.040	0.000	0.563
GDP	1116	1227.275	3841.59	0.004	87645.786
PRIMARY	1116	0.143	0.094	0.00	0.483
SECOND	1116	0.454	0.112	0.004	0.885
TERTIARY	1116	25.901	49.353	0.980	681.078
控制变量	—	—	—	—	—
POP	1116	428.764	341.303	4.72	2661.54
LUI	1116	3.381	0.424	1.416	4.500
ROAKS	1116	1.491	3.812	0.007	78.012
EXPEN	1116	0.183	0.134	0.009	1.739

(三) 空间分析方法

1. 全局自相关分析

全局空间自相关模型可以有效地反映生态元的空间分布的关联度。^[31]全局莫兰指数的核算公式如下:

$$I_g = N \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - u)(x_j - u)}{(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum_i (x_i - u)^2} \quad (1)$$

其中, N 表示空间单元总数; w_{ij} 表示进行了行标准化后的空间权重; x_i 表示*i*位置的单位生态元的数值; x_j 表示*j*位置的单位生态元的数值; u 代表所有空间单元平均生态元的数值。全局墨兰指数 I_g 的取值范围在-1 (负空间自相关性) 到+1 (正空间自相关性) 之间, 而全局墨兰指数 I_g 等于0代表不存在空间自相关性, 通过 p

①本文也采用第三产业产值进行稳定性检验, 结果的显著性一致。

值和z统计量可以查看空间自相关的显著性。全国生态元自相关检验如表3所示,生态元存在空间正相关性。

表3 全国生态元自相关检验

时间	Moran' I	p-value	z-value
2005	0.641	0.001	15.581
2010	0.619	0.001	15.178
2015	0.668	0.001	16.204
2020	0.674	0.001	16.615

2. 空间计量模型选择

本研究利用空间杜宾模型来研究城市化的空间溢出效应。空间计量模型主要包括三种:空间滞后模型(SLM)、空间误差模型(SEM)和空间杜宾模型(SDM)。在模型选择上,空间Dubin模型考虑了空间滞后自变量和因变量的组合效

应,可以更好地估计不同观测个体产生的溢出效应,基于面板数据测度空间溢出效应。空间Dubin模型如下:

$$Y_{it} = \rho WY_{it} + \beta X_{it} + \theta WX_{it} + \mu + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

其中, ρ 为被解释变量的因变量空间回归系数, W 为空间权重矩阵; WY_{it} 和 WX_{it} 分别表示被解释变量和解释变量的第*i*个城市在*t*年的空间滞后项; β 为解释变量的直接影响系数,衡量解释变量对生态元的影响程度; θ 为解释变量的空间滞后项系数,衡量解释变量对生态元的空间溢出作用; μ 表示随机效应或固定效应, $\varepsilon_{i,t}$ 为误差项。本文主要采用距离矩阵,并且使用临近矩阵作进行稳健性分析,稳健性回归结果与主回归采用距离矩阵的回归结果相似。

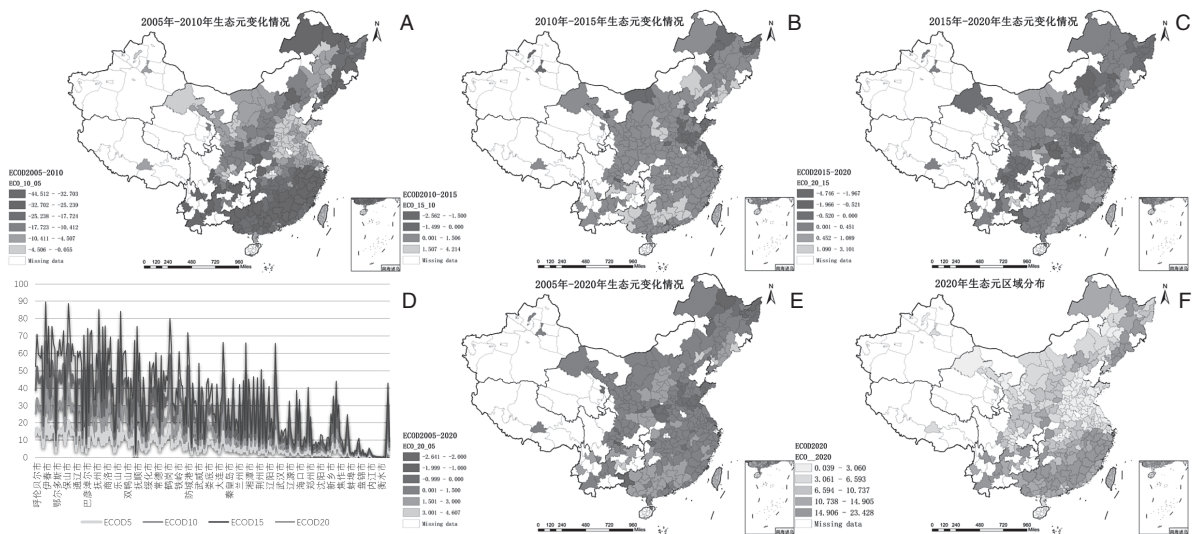


图1 2005—2010年、2010—2015年、2015—2018年生态元变化情况和2020年生态元区域分布(单位:生态元/平方米)

注:此图根据国家测绘地理信息局标准地图(审图号:GS(2016)1569)绘制而成,底图无修改。

三、结果与分析

(一) 生态元从2005年到2020年变化情况

生态元在空间分布上呈空间异质性,其总量随着时间变化而变化,呈“倒U”型曲线,如图1所示。从2005年到2020年全国范围内的单位生态元(ECOD)增加(图1(D)),其趋势呈现先减后增的“U”型曲线,各地区单位生态元(ECOD)数值变化存在空间异质性,如图1(E)所示。2005年到2010年全国大部分城市的单位

生态元(ECOD)减少,仅有少部分城市为增加,减少的范围集中在南方地区,如图1(A)所示。2010年到2015年和2015年到2020年全国大部分城市的单位生态元(ECOD)均为增加,少部分城市的单位生态元(ECOD)呈现减少的趋势,如图1(B)所示以及图1(C)所示。全国范围内城市的单位生态元(ECOD)增加主要由于以下两点:第一,东北地区生态功能的建设,有效地促进生态元的增加,如大小兴安岭森林生态功能区、三江平原湿地生态保护区、长白山森林生态

保护区、科尔沁草原生态功能区；第二，东部、中部地区的环境保护意识增强并且采取有效环保措施，促进生态元增加。

(二) 城镇化对于生态元的影响的空间溢出效应

在模型的选择上，空间计量模型主要包括空间误差模型（SEM）、空间滞后模型（SAR）和空间杜宾模型（SDM）。由于LM和稳健LM检

验、Wald和LR检验结果均在1%水平上显著，空间杜宾模型优于空间滞后模型和空间误差模型。在随机和固定效应模型选择上，Hausman统计数为正数且在1%水平上显著，故选择固定效应模型；固定效用模型分为时间固定效用模型、个体效用模型和双固定效用模型，LR检验结果表明选择双固定效应模型优于其他选择。具体模型表达式如下：

$$\begin{aligned}
 Ecounit_m2_{it} = & \rho WEcounit_m2_{it} + \beta_1 Urbanization_rate_{it} + \beta_2 Con_land_{it} + \beta_3 GDP_m2_{it} + \\
 & \beta_4 One_GDP_{it} + \beta_5 Two_GDP_{it} + \beta_6 Three_people_{it} + \beta_7 LUI_{it} + \beta_8 POP_{it} + \\
 & \beta_9 Roads_m2_{it} + \beta_{10} ex_GDP_{it} + \theta_1 WUrbanization_rate_{it} + \theta_2 WCon_land_{it} + \\
 & \theta_3 WGDP_m2_{it} + \theta_4 WOne_GDP_{it} + \theta_5 WTwo_GDP_{it} + \theta_6 WThree_people_{it} + \\
 & \theta_7 WLUI_{it} + \theta_8 WPOP_{it} + \theta_9 WRoads_m2_{it} + \theta_{10} Wex_GDP_{it} + u_i + \delta_t + \varepsilon_{it}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

最小二乘法回归模型（OLS）无法刻画空间自相关性，空间杜宾模型（SDM）优于空间滞后模型（SLM）和空间误差模型（SEM），具体如表4。由第二列和第三列可知，OLS很明显忽视模型存在的空间自相关性，该模型的空间滞后项和空间误差项在1%的水平上显著，传统OLS无法捕捉变量的空间关联属性。

空间杜宾模型的回归结果如表4所示。生态元本身存在溢出效应，空间杜宾模型回归结果显示，空间滞后项系数为0.549且在1%的水平上

显著，周边城市的生态元提高1%会使得本市生态元提高0.549，表明生态元与二氧化碳排放、雾霾污染一样具有溢出效应。^[32-33]在城镇化具体指标方面，城镇化率对本市生态元的影响不显著，表明人口城镇化提高不会直接对生态系统服务价值产生影响。土地城镇化与生态元呈现负向影响，建成区面积占比提高会导致生态元下降，与前人研究结果一致。^[34-35]经济城镇化对生态元存在正向的影响，表明经济不会引起环境质量下降，呈现经济高质量发展的特征。

表4 OLS、SLM、SEM和SDM回归结果

VARIABLE	OLS	SLM	SEM	SDM
URBAN	676.4**(2.61)	290.3(1.72)	154.0(0.84)	64.52(0.36)
CON	535.8(1.43)	1730.74	-1199.2***(-3.48)	-1068.7**(-3.00)
GDP	-0.0316(-1.90)	-0.0100(-1.55)	0.000167(0.02)	0.00147(0.19)
PRIMARY	-1720.3***(-4.18)	2358.26	2314.8	-736.4(-1.59)
SECOND	-1438.0***(-4.67)	1519.186	-378.1(-1.21)	-272.2(-0.88)
TERTIARY	-1.097(-1.80)	-0.345(-0.63)	-0.138(-0.25)	0.169(0.30)
.....				
W* URBAN				714.7*(2.35)
W* CON				2020.6**(3.08)
W* GDP				-0.0358**(-3.00)
W* PRIMARY				-240.5(-0.33)
W* SECOND				2201.535
W* TERTIRY				-0.594(-0.58)
.....				

(续表)

VARIABLE	OLS	SLM	SEM	SDM
Spatial lag term		0.598***(22.07)		0.549***(18.18)
Spatial error term			0.642**(24.75)	
R ²	0.102	0.0921	0.052	0.203
AIC	17849	17483.5	17488.7	17461.5
N	1116	1116	1116	1116

注: 括号内数字为标准误, ***, **, *分别代表1%、5%和10%的显著性水平。

当存在空间溢出效应的时候, 城镇化不仅会影响本市的生态元, 还会影响到周边城市的生态元, 而这些影响需要通过一系列空间反馈来调整。^[36]表5报告了人口、土地、经济和产业城镇化对于生态元的直接、间接和总效应。人口城镇化的间接效应显著为负数, 表明人口聚集在本市使周边城市的生态元降低。由于中国部分城市房价较高和户籍政策的限制, 外来常住人口无法在本市购置房产, 进而选择在周围城市购买。本市固定资产购买力外溢到邻近城市, 开发商开发周围城市土地以满足外溢的购买力需求, 间接造成生态元下降。^[37]土地城镇化的间接效应显著为正数, 表明本市建成区面

积增加会缓解周围城市生态元减少。由于本市的产业、居住等用地增加, 吸收附近的产业投资和人口(虹吸效应), 从而间接导致周围城市生态元上升。产业城镇化方面, 第一产业的间接效应显著为正, 城镇化会使部分农村人口转化为城镇人口, 并使现代化、大规模、机械化的农业不断发展。^[38]本市第一产业的发展会促进周围城市第一产业的发展, 减缓周围城市农业用地转化为建筑用地的进程,^[39]故本市第一产业占比增加会导致周围城市生态元上升。第二产业占比的间接效应显著为正, 与土地城镇化类似, 本市第二产业发展吸收了周边城市的相关企业和投资, 使得周围城市的生态元上升。

表5 城镇化主变量对生态元的直接效应、间接效应和总效应

变量	直接效应	t值	间接效应	t值	总效应	t值
URBAN	392.5	1.37	-3005.9**	-3.14	-2613.4*	-2.53
CON	-1202.7***	-3.29	13437.1***	7.99	12234.4***	6.92
GDP	0.0263**	0.45	3.96	-1.05	0.00239	0.11
PRIMARY	1667.3*	2.12	12386.3***	4.75	14053.6***	5.31
SECOND	212.9	0.45	5810.4***	3.96	6023.3***	3.99
TERTIARY	-1.561	-1.11	-10.74	-1.93	-12.30*	-2.06

注: *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

四、结论与政策建议

(一) 主要结论

本文首先采用能值法核算的生态元表征生态系统服务价值, 并基于中国279个地级市2005、2010、2015和2020年的数据, 研究不同维度城镇化对生态元的影响, 特别是产业城镇化作为独立子指标对生态元的影响。最后, 利用

空间杜宾模型, 讨论不同维度的城镇化对生态元影响的空间溢出效应。

本文发现, 第一, 土地城镇化是影响本市生态服务价值的主要因素, 而人口、经济城镇化为次要因素。人口和土地城镇化对生态元具有空间溢出效应, 而经济城镇化未表现出空间溢出效应。在土地城镇化方面, 城市发展具有虹吸效应, 吸纳周围城市的资源, 从而对周围城市

的生态元产生了正向的影响。在人口城镇化方面,由于部分城市房价较高和户籍制度限制,大量的城市常住人口会在周边城市购置资产,导致周边城市生态元下降。经济城镇化方面,城市GDP增长已不会引起生态元下降,体现经济高质量发展。

第二,在产业城镇化中,第一、二产业对生态元具有空间溢出效应,而第三产业未表现出空间溢出效应。城市第一产业发展本身对生态元发展具有正向促进作用,第一产业规模化可能促进周围城市的农业发展,进而提高周围城市的生态元。城市第二产业的发展具有聚集性,当周围城市第二产业向中心城市聚集,在长期上会缓解周围城市工业用地压力,促进其生态环境恢复和生态元提高。

(二) 政策建议

基于以上结论,本文提出以下建议。第一,注重土地紧凑集约化发展,在合理规划城市布局的基础上,优化土地利用结构,促进土地的混合利用。在扩大建成区面积的同时,建立相对应的保障工程保护城市生态环境。第二,在生态系统服务价值评价方面,政府应考虑宏观区域内产业发展与生态系统服务价值的协调。中心城市的第二产业集聚,可能引起其生态环境压力变大,但同时周围城市的生态系统服务价值可能上升。建议政府对生态系统服务价值考评不仅关注城市层面,也要考虑宏观区域层面。

不足与展望:本文仅从综合的生态系统服务价值角度来考虑城镇化对生态元的空间溢出效应,并未研究不同类型的生态系统服务价值与城镇化之间的关系。未来研究可以基于生态元统一量纲存在可比性的优点,研究不同类型生态服务的生态元与城镇化之间的空间关系,揭示不同的生态服务价值受城镇化影响的空间机制。

参考文献:

[1]COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The

value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.

[2]刘紫玟,尹丹,黄庆旭,等.生态系统服务在土地利用规划研究和应用中的进展——基于文献计量和文本分析法[J]. *地理科学进展*, 2019, 38(2): 236-247.

[3]黄木易,岳文泽,方斌,等.1970-2015年大别山区生态服务价值尺度响应特征及地理探测机制[J]. *地理学报*, 2019, 74(9): 1904-1920.

[4]刘耕源.生态系统服务功能非货币量核算研究[J]. *生态学报*, 2018, 38(4): 1487-1499.

[5]刘世锦,刘耕源,王海芹,等.基于“生态元”的全国省市生态资本服务价值核算排序评估报告[R/OL]. (2019-09-03)[2022-12-30]. <https://mp.weixin.qq.com/s/d7VntpSyysQgeliJ8xVWdQ>.

[6]KREUTER U P, HARRIS H G, MATLOCK M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas[J]. *Ecological Economics*, 2001, 39(3): 333-346.

[7]窦玥,戴尔阜,吴绍洪.区域土地利用变化对生态系统脆弱性影响评估——以广州市花都区为例[J]. *地理研究*, 2012, 31(2): 311-322.

[8]CHEN W, ZHAO H, LI J, et al. Land use transitions and the associated impacts on ecosystem services in the Middle Reaches of the Yangtze River Economic belt in China based on the geo-informatic Tupu method[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 701(C): 134690.

[9]刘永强,廖柳文,龙花楼,等.土地利用转型的生态系统服务价值效应分析——以湖南省为例[J]. *地理研究*, 2015, 34(4): 691-700.

[10]XIE X, FANG B, XU H, et al. Study on the coordinated relationship between Urban Land use efficiency and ecosystem health in China[J]. *Land Use Policy*, 2021, 102(C): 105235.

[11]PENG J, TIAN L, LIU Y, et al. Ecosystem services response to urbanization in metropolitan areas: Thresholds identification[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 607(C): 706-714.

[12]LI W, WANG Y, XIE S, et al. Coupling coordination analysis and spatiotemporal heterogeneity between urbanization and ecosystem health in Chongqing municipality, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 791(C): 148311.

[13]韩增林,赵玉青,闫晓露,等.生态系统生产总值与区域经济耦合协调机制及协同发展——以大连市为例[J]. *经济地理*, 2020, 40(10): 1-10.

[14]吕有金,高波.新型城镇化对环境污染的直接影响

- 与空间溢出——以长江经济带108个城市为例[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2021, 42(5): 41-51.
- [15] YANG Q, LIU G, CASAZZA M, et al. Development of a new framework for non-monetary accounting on ecosystem services valuation[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 7(6): 37-54.
- [16] YANG Q, LIU G, CASAZZA M, et al. Emergy-based accounting method for aquatic ecosystem services valuation: A case of China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 25(27): 55-68.
- [17] 刘耕源, 刘畅, 杨青. 基于能值的海洋生态系统服务核算方法构建及应用[J]. *资源与产业*, 2021, 23(1): 20-34.
- [18] YANG Q, LIU G, GIANNETTI B F, et al. Emergy-based ecosystem services valuation and classification management applied to China's grasslands[J]. *Ecosystem Services*, 2020, 42(C): 101073.
- [19] YANG Q, LIU G, HAO Y, et al. Donor-side evaluation of coastal and marine ecosystem services[J]. *Water Research*, 2019, 166(C): 115028.
- [20] 周渝, 邓伟, 刘婷, 等. 重庆都市区生态系统服务价值时空演变及其驱动力[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(1): 249-256.
- [21] XING L, ZHU Y, WANG J. Spatial spillover effects of urbanization on ecosystem services value in Chinese cities[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 121(C): 107028.
- [22] 王迪, 谢慧明. 流域范围内县域生态系统服务价值库兹涅茨效应研究——以钱塘江流域为例[J]. *生态经济*, 2021, 37(6): 147-152.
- [23] YUE W, LIU Z, SU M, et al. The impacts of multi-dimension urbanization on energy-environmental efficiency: Empirical evidence from Guangdong Province, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 296(C): 126513.
- [24] ZHU Z, LI B, ZHAO Y, et al. Socio-Economic impact mechanism of ecosystem services value, a PCA-GWR approach[J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2021, 30(1): 977-986.
- [25] WANG D G, HAN F J, SHEN G, et al. Study on the driving mechanism of ecosystem service value on XIMEN island based on STIRPAT model [C] //E3S Web of Conferences. ICAEER 2018: Volume 53. Gui lin: EDP Sciences, 2018: 03036.
- [26] CHEN W, CHI G, LI J. The spatial association of ecosystem services with land use and land cover change at the county level in China, 1995-2015[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 48(24): 459-470.
- [27] 曹君, 张正栋, 崔峰艳, 等. 1996—2015年纽约湾区生态系统服务对景观格局变化的响应[J]. *世界地理研究*, 2021, 30(4): 826-838.
- [28] WU C, LIN Y, CHIANG L, et al. Assessing high way's impacts on landscape patterns and ecosystem services: A case study in Puli Township, Taiwan[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 29(8): 60-71.
- [29] LI H, PENG J, YANXU L, et al. Urbanization impact on landscape patterns in Beijing City, China: A spatial heterogeneity perspective[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 17(11): 50-60.
- [30] 卢洪友, 祁毓. 我国环境保护财政支出现状评析及优化路径选择[J]. *环境保护*, 2012(17): 28-31.
- [31] 冯星宇, 戴俊骋, 孙东琪. 中国文化产业省域空间集聚及其溢出效应分析[J]. *经济地理*, 2021, 41(10): 233-240.
- [32] SHAHNAZI R, DEHGHAN SHABANI Z. The effects of renewable energy, spatial spillover of CO₂ emissions and economic freedom on CO₂ emissions in the EU[J]. *Renewable Energy*, 2021, 31(7): 293-307.
- [33] GAN T, LIANG W, YANG H, et al. The effect of economic development on haze pollution (PM_{2.5}) based on a spatial perspective: Urbanization as a mediating variable[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 266(C): 121880.
- [34] PANNELL C W. China's continuing urban transition[J]. *Environment and Planning A*, 2002, 34(9): 1571-1589.
- [35] 马慧强, 杨俊, 李哲. 太原市城市复合生态系统调节服务时空格局演化及驱动机制研究[J]. *地理科学*, 2021, 41(3): 463-472.
- [36] LESAGE J P. An introduction to spatial econometrics[J]. *Revue d'économie industrielle*, 2008(123): 19-44.
- [37] SUTTON P C, ANDERSON S J, COSTANZA R, et al. The ecological economics of land degradation: Impacts on ecosystem service values[J]. *Ecological Economics*, 2016, 28(11): 182-192.
- [38] BAI X, SHI P, LIU Y. Society: Realizing China's urban dream[J]. *Nature (London)*, 2014, 509(7499): 158-160.
- [39] WU C, CHEN B, HUANG X, et al. Effect of land-use change and optimization on the ecosystem service values of Jiangsu province, China[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 117(C): 106507.

The Spatial Spillover Effect of Multi-Dimensional Urbanization on the Value of Ecosystem Services

WU Kaisheng, WANG Dong & LU Haiyan

Abstract: The urbanization process involves population migration, economic growth, land use changes, and industrial upgrades. It has certain limitations to simply divide it into population, economy, and land urbanization. This article considers industrial urbanization as a separate indicator in multi-dimensional urbanization indicators. Using the “ECOD” calculated by the emergy method to represent the value of ecosystem services. Based on the city-level data in 2005, 2010, 2015 and 2020 in China, we explore the spatial spillover effects of population, land, economy, and industrial urbanization on the value of ESV by using the Spatial Dubin Model (SDM). The results show that, from the perspective of direct utility, land urbanization is the main factor affecting the value of local ecosystem services, while population and economic urbanization are secondary factors. From the perspective of spillover utility, population and land urbanization have spatial spillover effects on ecological elements, while economic urbanization does not show spatial spillover effects; in industrial urbanization, the primary and secondary industries have spatial spillover effects on ecological elements, while the tertiary industry does not show spatial spillover effects. The development of the primary industry itself in cities has a positive promoting effect on the development of ecological elements, and the large-scale development of the primary industry may promote agricultural development in surrounding cities, thereby improving the ECOD of surrounding cities. Based on the research conclusions, policy recommendations are as follows: focus on compact and intensive land development, optimize land use structure and promote mixed land use on the basis of rational urban planning. The government's evaluation of the value of urban ecosystem services should not only consider the urban level but also take into account the macro-regional level.

Keywords: ESV; ECOD; multi-urbanization; spatial spillover effect