

中国城镇化进程对生态系统服务价值的影响

黄敏^{1,2}, 杨飞², 郑士伟^{1,2}

(1. 山东理工大学, 山东 淄博 255049;

2. 资源与环境信息系统国家重点实验室 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 研究城镇化进程对生态系统服务价值的影响, 为今后城市的可持续发展提供参考。以中国各地级市为研究单元, 利用 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年的中国地市级城镇化指标数据和全国土地利用数据, 通过相关计算以及 SPSS 相关性分析, 定量评价中国各地级市的城镇化水平特征、生态系统服务价值量变化以及之间的相关关系。结果表明: (1) 中国主要地级市城镇化水平都呈逐渐递增趋势, 城镇化进程呈阶段性特征。城镇化水平的空间格局表现为高值集聚性, 形成了京津冀、长三角和珠三角等综合城镇化水平高值集聚区。(2) 中国的生态系统服务价值 25 年间减少 1 105.68 亿元, 年均减少 44.23 亿元, 总体呈减少趋势。各地级市生态系统服务价值空间分布差距较大, 总体空间分布呈现西高东低、北高南低的趋势。(3) 人口城镇化和经济城镇化是主要导致生态系统服务价值减少的因素。土地城镇化是通过土地利用变化直接影响生态系统服务价值。社会城镇化则影响生态系统服务功能的结构。总体来说, 城镇化会导致生态系统服务价值功能总值降低。综合城镇化水平和生态系统服务价值功能之间存在明显负相关关系, Pearson 系数为 -0.876, 并通过 0.05 信条水平检验。

关键词: 城镇化; 生态系统服务价值; 地市级; 相关关系

中图分类号: F301.2; F062.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)01-0352-08

Impact of Urbanization Process on Ecosystem Service Value in China

HUANG Min^{1,2}, YANG Fei², ZHENG Shiwei^{1,2}

(1. Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China;

2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of

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

Abstract: We studied the impact of urbanization on ecosystem services value, and provided a reference for the sustainable development of cities in the future. The prefecture-level cities in China were taken as the research units, data on urbanization indicators and national land use data from 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 and 2015 were used. Through correlation calculation and SPSS correlation analysis, the urbanization level characteristics of China's prefecture-level cities, the change of ecosystem service value and the correlation between them can be quantitatively evaluated. The results showed that: (1) the urbanization level of China's major prefecture-level cities was gradually increasing, and the urbanization process was characterized by stages; the spatial pattern of urbanization was characterized by high value agglomeration, forming the Beijing-Tianjin-Hebei, Yangtze River Delta, Pearl River Delta and other comprehensive urbanization level high value gathering area; (2) the values of ecosystem services in China had decreased by 110 billion 568 million yuan in the past 5 years, with an average annual decrease of 4 billion 423 million yuan, showing a decreasing trend; the spatial distribution of ecosystem service values in different levels of cities were quite different, and the overall spatial distribution showed the trend of the high level in the west, low level in the east, high level in the north and the low level in the south; (3) population urbanization and economic urbanization are the main factors that lead to the decrease of ecosystem service value; land urbanization directly affects the values of ecosystem services through land use change; the social urbanization affects the structure of ecosystem service

收稿日期: 2018-02-27

修回日期: 2018-04-05

资助项目: 中科院前沿科学重点研究项目(QYZDY-SSW-DQC007); 国家重点研发计划资助(2017YFA0604804); 西藏自治区科技计划项目课题(Z2016C01G01/05)

第一作者: 黄敏(1993—), 男, 江苏盐城人, 硕士生, 主要从事生态和 GIS 的应用研究。E-mail: huangm@lreis.ac.cn

通信作者: 杨飞(1981—), 男, 山东省枣庄人, 博士, 硕士生导师, 副研究员, 研究方向为农业环境遥感。E-mail: yangfei@lreis.ac.cn

function. Generally speaking, urbanization will lead to the decrease of ecosystem services value. There is a significant negative correlation between the level of urbanization and the value function of ecosystem services. The Pearson coefficient is -0.876 , and is tested by 0.05 belief level.

Keywords: urbanization; ecosystem service value; prefecture-level cities; correlation

城镇化是社会生产力发展所引起的人类生产方式、生活方式和居住方式改变的过程,是政治、经济、历史、文化和地域条件演绎发展的过程,也是现代化的必由之路和重要标志^[1-2]。城镇化水平是一个国家发达程度的重要标志之一^[3]。随着改革开放,我国走上了快速城镇化的道路,城镇化水平已经不能单纯地用城镇人口占总人口这一指标来衡量,需要从经济、人口、土地以及社会等多方面进行测度,建立一套完整的城镇化水平评价体系^[4-7]。生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[8-9]。1997年 Costanza 等人将生态系统服务作了详细的划分^[10]。有 Costanza 等人的研究成果,2010年谢高地根据中国民众和决策者对生态服务的理解状况,将生态服务重新划分为食物生产、原材料生产、景观愉悦、气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保持、废物处理、生物多样性维持共 9 项,来研究我国的生态系统生态服务价值^[11-12]。目前国外学者主要对生态系统服务之间的相互联系和作用^[13-14]、以人为中心的生态服务价值^[15]、影响因子^[16]以景观变化^[17-18]进行研究。国内学者对不同生态类型的各种服务价值研究^[19-21]、区域性生态服务价值估算及其分析^[22-26]、生态系统服务价值估算方法的研究^[27-28]、生态服务价值变化的驱动力分析^[29-30]以及城镇化、生态文明、土地利用以及退耕还林等引起生态系统服务价值发生的变化等研究较多^[31-35]。

然而在发展城镇化的过程中对生态系统造成了极大的伤害,这就引起相关学者的关注,想以城市生态系统理论为指导,分析和研究生态系统服务、功能及驱动机制,最终达到城镇化可持续发展的目的^[36]。2008年赵卫等建立了吉林城镇化水平与生态足迹强度之间的回归模型,发现生态足迹强度与城镇化率呈显著相关,并分析了城镇化发展对生态承载力的影响^[37]。2009年欧阳志云等从人类活动对生态系统服务功能影响的生态学机制入手,对人类对生态系统服务功能的影响进行研究和总结^[38]。2010年蔡邦成等从量化的角度研究了昆山城市化与生态系统服务的关系^[39]。2016年张骞等采用 RS 和 GIS 技术以及生态系统服务价值评估等方法,对重庆市主城九区 1988 年、1996 年、2004 年、2013 年 4 个时期城镇化对生态系统服务价值进行了分析^[40]。

本文以整个中国大陆为研究区域,改革开放以来,我国城镇化率从 1990 年的 26.41% 增长到 2015 年的 56.1%。快速的城镇化步伐虽然极大推动了中国经济的快速增长,也给生态环境带来了巨大冲击。因此作者在 GIS 技术和统计学的基础上,定量分析出城镇化水平、生态系统服务价值的时空变化特征以及城镇化与生态服务价值之间的关系,找出引起生态系统服务价值变化的主要原因,为今后的城市可持续发展提供参考。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

本研究中使用的全国土地利用数据包括 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年六期,是由 Landsat 30 m 遥感影像数据人机交互解译得到(数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>))。城镇化的相关数据来源于《中国城市统计年鉴》^[41]和《中国统计年鉴》^[42],根据这六期的中国土地利用数据,将土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、湿地、其他土地及城镇建设用地七大类。

1.2 研究方法

1.2.1 城镇化水平测度 为了更科学的展示中国城镇化水平,需要构建一个比较完善的城镇化水平测度指标体系^[6](表 1)。本文从城镇化的概念和内涵出发,将城镇化指标归为人口城镇化、经济城镇化、土地城镇化以及社会城镇化 4 个一级指标和非农业人口所占比重、人均地区生产总值、城镇建设用地面积、二、三产业产值比重以及万人在校大学生等 14 个二级指标。4 个方面相互联系又有区别,力求能够准确地反映城镇化的综合水平,本文使用熵值法来确定权重。

数据标准化:

$$\text{正项指标: } X'_{ij} = \frac{(X_{ij} - \min\{X_j\})}{(\max\{X_j\} - \min\{X_j\})} \quad (1)$$

$$\text{负项指标: } X'_{ij} = \frac{(\max\{X_j\} - X_{ij})}{(\max\{X_j\} - \min\{X_j\})} \quad (2)$$

计算第 i 城市第 j 项指标值的比重:

$$Y_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}} \quad (3)$$

计算出第 j 项指标的熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (Y_{ij} \times \ln Y_{ij}), \text{ 令 } k = \frac{1}{\ln m}, \text{ 有 } 0 \leq e_j \leq 1 \quad (4)$$

信息熵冗余度的计算:

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

指标的权重:

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (6)$$

单指标评价得分:

$$S_{ij} = w_i \times X'_{ij} \quad (7)$$

第 i 个城市的综合水平得分:

$$S_i = \sum_{j=1}^n S_{ij} \quad (8)$$

式中: X_{ij} 表示第 i 个城市第 j 项评价指标的数值; $k =$

$\frac{1}{\ln m}$, 其中 m 为评价城市数, n 为指标数。

1.2.2 基于修正系数后的生态系统服务价值计算

本文以 Costanza 和谢高地研究得到的价值系数为基础^[43], 通过相关影响因素分别对 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年中国单位面积生态服务价值当量进行修正。得到跨度 25 a 的 6 个不同时期中国所有地级市耕地、林地、草地、水域、湿地、其他土地及城镇建设用地七大类的单位面积生态服务价值。

(1) 生态系统服务价值当量因子修正。生态系统服务价值当量因子是生态系统潜在服务价值的相

对贡献率, 该因子等于每年每公顷粮食价值的 1/7。利用该方法订正生态系统服务当量可使结果更符合实际。1990—2015 年, 中国平均粮食产量为 4 600.89 kg/hm², 且 25 a 中国的平均粮食价格为 2.28 元/kg, 所以整个中国地区每个生态系统服务价值当量因子为 1 498.58 元/hm², 参照谢高地构建的生态系统单位面积生态服务价值当量因子表, 将中国各种土地类型与最接近的生态系统类型联系起来, 其中耕地与农田对应, 林地与森林对应, 城镇建设用地和其他土地取荒漠的对应值, 乘以单位当量生态服务价值, 得出中国 7 种土地生态系统单位面积的服务价值(表 2)。

表 1 城镇化水平综合评价指标体系

系统层	一级指标	二级指标	权重
城镇化	人口城镇化	地区人口规模	0.1423
		二、三产业就业人口比重	0.0049
	经济城镇化	非农业人口所占比重	0.0255
		地区生产总值	0.1762
		二、三产业产值比重	0.0041
		人均地区生产总值	0.1075
	土地城镇化	人均公共绿地面积	0.0983
		人均道路铺设面积	0.0802
		城镇建设用地面积	0.1176
		社会城镇化	万人拥有公共汽车数
人均居民用水量			0.0300
万人拥有大学生数			0.1154
万人拥有医生数	0.0253		
		万人拥有床位数	0.0222

表 2 中国生态系统单位面积生态服务价值

	林地	草地	耕地	湿地	水域	城镇用地	未利用地
食物生产	149.86	449.58	1498.58	449.58	149.86	14.98	14.98
原材料生产	3896.32	74.93	149.86	104.9	14.98	0	0
气体调节	5245.04	1198.87	1392.65	2697.45	0	0	0
气候调节	4046.18	1348.73	1333.74	25625.78	689.35	0	0
水源涵养	4795.47	1198.87	899.15	23228.05	30541.13	44.96	44.96
废物处理	1963.15	1963.15	2457.68	27244.25	27244.25	14.98	14.98
土壤形成与保持	5844.47	2922.24	2187.93	2562.57	14.98	29.97	29.97
生物多样性维持	4885.38	1633.46	1063.99	3746.46	3731.47	509.52	509.52
景观愉悦	1918.19	59.94	14.98	8317.14	6503.85	14.98	14.98
总和	32744.06	10849.77	10998.56	93976.18	68889.87	629.39	629.39

(2) 生态系统服务价值计算。根据各类土地生态系统面积和单位面积价值, 估算区域土地生态系统总的生态服务价值, 计算公式为:

$$ESV = \sum A_k C_k \quad (9)$$

式中: ESV 为生态系统服务价值; A_k 为土地利用类型 k 的分布面积; C_k 为该类型土地单位面积的生态系统服务价值系数。

单项生态系统服务功能价值:

$$ESV_j = \sum A_k C_{kj} \quad (10)$$

式中: ESV_j 为第 j 类生态系统服务功能的总价值; A_k 为第 k 类土地利用类型的面积; C_{kj} 为单位面积 k 类土地类型在生态系统服务功能 j 上的价值系数。

2 结果与分析

2.1 城镇化水平定量评价

(1) 城镇化水平时序发展评价。根据中国城镇化综合评价指标体系, 对综合城镇化水平、人口城镇化水平、经济城镇化水平、土地城镇化水平以及社会

城镇化水平进行测度。从指标的权重结果来看,地区生产总值(0.176 2)、地区人口规模(0.142 3)以及城镇建设用地面积(0.117 6)最为重要,说明在 1990—2015 年,经济增长、人口增长以及城镇土地扩张是中国城镇化发展的主要因素。在研究期内,中国各城镇化水平都呈逐渐递增趋势,综合城镇化水平从 1990 年的 0.044 3 增长到 2015 年的 0.149 5,年均增长 0.049 8,其余由高到低依次为土地城镇化、经济城镇化、社会城镇化以及人口城镇化。1990 年以来中国城镇化发展进程可以划分为两个阶段:平稳发展阶段(1990—2000 年)和快速发展阶段(2000—2015 年)。第一阶段综合城镇化水平得分从 1990 年时的 0.044 3 增长到 2000 年的 0.067 3,增长了 0.023 0。其中 1990—1995 年,城镇化水平增长了 0.013 6,1995—2000 年增长了 0.009 4。此阶段国家大力发展经济,中国城镇化水平稳步增长。

第二阶段中国综合城镇化水平从 2000 年的 0.067 3 增长到 2015 年的 0.149 6,增长了 0.082 3,是第一阶段增速的 3.58 倍,其中 2000—2005 年,城镇化水平

增长了 0.026 4,2005—2010 年增长了 0.029 2,2010—2015 年增长了 0.026 7。数据表明 2000 年是中国城镇化进程的一个转折点,中国城镇化进入了快速发展的黄金阶段。

(2) 城镇化水平空间演化特征评价。从研究结果来看,中国主要地级市城镇化水平基本都呈递增趋势,但各地级市城镇化水平差异显著(图 1)。东部沿海地区城镇化水平较高,中部城市次之,西部城市城镇化水平最低。城镇化水平的空间格局表现为高值集聚。各城市间的综合城镇化水平差异较大,城镇化水平较高的城市在空间上彼此接近,形成了京津冀、长三角、珠三角以及成渝等综合城镇化水平高值集聚区,城镇化建设连绵成片且高度集中。城镇化水平低的地级市主要分布在新疆、青海、西藏、内蒙、甘肃和四川西北部。在研究期内城镇化水平高值集聚区和低值集聚区变化不大。1990—2015 年,多数地级市城镇化水平呈增长趋势,除巴中和运城等一些中部城市城镇化水平增长较快外,总体来说东部沿海城镇化水平比其他地区增速更加显著。

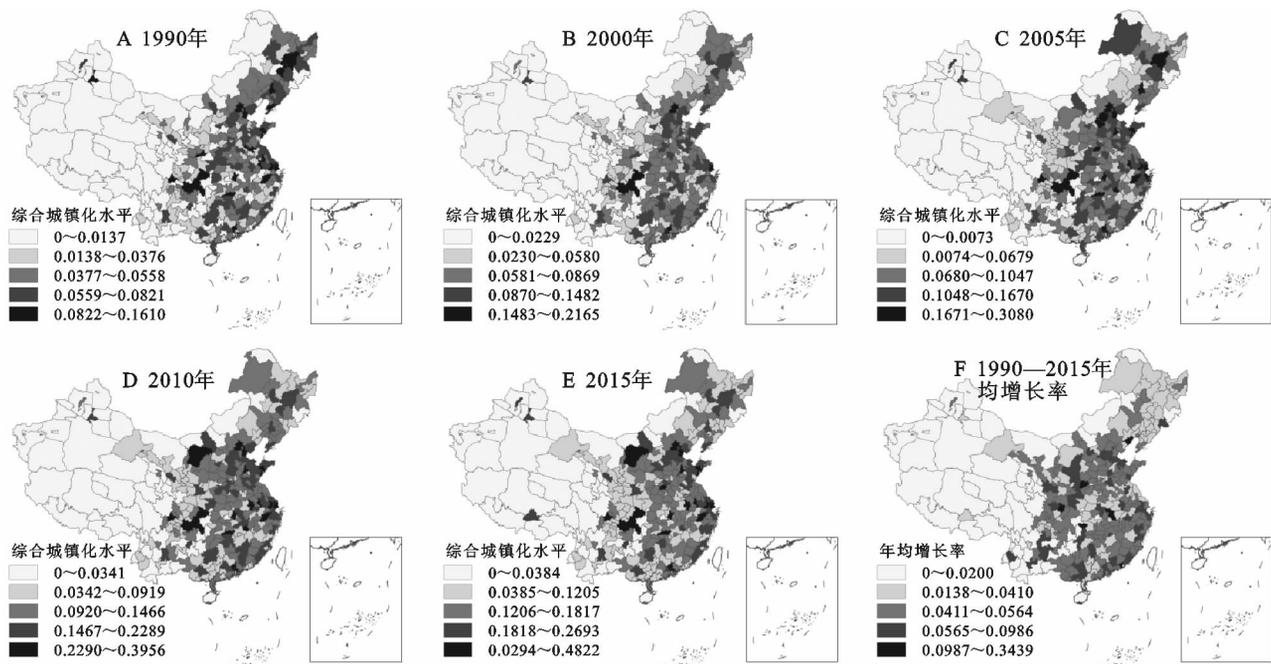


图 1 中国市级单元城镇化水平空间演变以及年均变化率

2.2 生态系统服务价值变化特征

2.2.1 生态系统服务价值时间变化特征 从 1990—2015 年中国生态系统服务总价值变化来看,25 a 间减少 1 105.68 亿元,年均减少 44.23 亿元,总体呈减少趋势。由于中国各地级市城镇化进程加快,建设用地扩张急速,其他土地类型减少,导致该时间段生态系统服务价值随之骤减(表 3)。1990—2000 年,林地、草地和湿地的生态系统服务价值分别减少 333.11 亿元、372.34 亿元和 512.55 亿元。耕地、水

域、城镇建设用地以及其他用地都呈增长趋势。其中耕地增长最多。湿地生态系统服务价值减少幅度最大,主要由于大面积的滩涂被开垦,导致湿地面积大幅减少。在这 6 种类型中,湿地对生态系统的贡献仅次于林地,随着面积的减少会导致相应服务价值量的下降。2000—2005 年,耕地、草地和湿地生态系统服务价值分别减少 77.37 亿元、119.90 亿元和 136.32 亿元。林地、水域、城镇建设用地以及其他用地呈增长趋势。由于国家退耕还林的政策出台,我国林地比

例大幅度增长。同时由于经济发展的原因,建筑用地不断扩张,使得相应的生态系统服务价值也不断增长。以及受气候变化、水循环以及人类活动的影响,我国水域面积总体呈现增加趋势。2005—2010年,林地、水域、城镇建设用地以及其他用地呈增长趋势。

表 3 1990—2015 年土地类型生态系统服务价值演变情况

年	耕地	林地	草地	水域	城镇用地	湿地	其他土地
1990	19401.00	72904.69	32995.85	18134.26	15.40	8216.38	1286.39
1995	19530.28	72937.88	32762.36	18179.00	19.15	7914.46	1289.78
2000	19710.63	72571.58	32623.51	18308.84	20.05	7703.83	1293.84
2005	19633.26	72673.53	32503.61	18435.08	25.57	7567.51	1297.67
2010	19572.12	72684.34	32491.86	18492.94	28.37	7524.44	1298.75
2015	19553.20	72491.31	32399.18	18715.86	31.89	7352.20	1304.66

从单项生态系统服务功能价值的变化来看(表 4),水源涵养、土壤形成与保持、废物处理、生物多样性维持对中国生态系统服务价值贡献最大。1990 年以来,随着经济快速发展及高速的城市化进程,中国各地级市大量土地非农化,导致对生态系统服务贡献较大的林地、湿地及耕地面积不断减少,势必会引起相应的项生态系统服务功能降低。1990—2000 年,食物生产功能服务价值增长了 23.45 亿元,其他功能生态服务价值都呈减少趋势,其中气候调节、水源涵养以及土壤形成与保持功能生态系统服务价值减少量最多。分别减少 187.92 亿元、113.04 亿元以及 111.51 亿元。2000—2005 年,除原材料生产、水源涵

2010—2015 年,除了耕地和草地的生态系统服务价值分别减少外,林地和湿地的生态系统服务价值也在下降,说明林地又遭到了大量的破坏,滩涂依然被严重开垦。而水域以及城镇建设用地的生态系统服务价值仍然呈增长趋势。

养以及景观愉悦功能生态服务价值增加以外。其他功能生态服务价值均不同程度减少。原材料生产、水源涵养以及景观愉悦功能生态服务价值分别增加 10.46 亿元、28.87 亿元以及 7.51 亿元,而食物功能服务价值却减少 23.95 亿元。2005—2010 年,除了水源涵养和废物处理功能生态服务价值增加以外,其余功能生态服务价值都在减少。纵观 1990—2015 年,各功能生态服务价值均呈减少趋势。其中气候调节、土壤形成与保持、气体调节、废物处理以及生物多样性维持功能生态服务价值减少量最多,分别减少 336.63 亿元、226.00 亿元、118.43 亿元、137.68 亿元以及 111.60 亿元。

表 4 1990—2015 年各生态系统服务类型价值演变情况

参数	1990 年	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
食物生产	4454.08	4460.99	4477.53	4462.33	4453.58	4446.16
原材料生产	9180.50	9184.27	9141.97	9152.10	9152.43	9128.42
气体调节	18016.46	18003.67	17946.45	17935.82	17927.27	17878.77
气候调节	17885.12	17793.99	17697.20	17649.61	17630.90	17548.49
水文调节	26072.48	26007.82	25959.44	25977.73	25988.30	26005.17
废物处理	24261.06	24180.03	24163.65	24141.40	24136.75	24142.63
保持土壤	26049.11	26009.97	25937.60	25904.86	25890.49	25823.11
维持生物多样性	20085.42	20063.89	20008.43	20007.08	20005.57	19973.82
提供美学景观	6949.76	6928.27	6900.02	6905.30	6907.53	6901.71

2.2.2 生态系统服务价值空间变化特征 从以地级市为单元的生态系统服务价值空间分布上来看(图 2),各地级市生态系统服务价值空间分布差距较大,总体空间分布呈西高东低、北高南低的趋势。东北地区、京津冀地区、长三角地区、珠三角地区、山东半岛以及甘肃等地区的生态系统服务价值在减少,而生态系统服务价值增加的地区集中在西藏、新疆、青海、四川、内蒙古东北部等地区。1990—2015 年,生态系统服务价值较高的地区和较低的地区分布基本变化不大,生态系统服务价值较高的地区主要集中在西藏北部

和西部、新疆东南部、青海西部、四川西部、内蒙古东北部以及黑龙江北部。其中西藏那曲地区和内蒙古呼伦贝尔市生态系统服务价值最高,分别为 6 296.74 亿元和 4 713.95 亿元。而生态系统服务价值较低的地区分布在长三角地区、京津冀地区、珠三角、辽中南和环渤海等经济发达地区以及生态系统较脆弱地区(山西、甘肃、河南、安徽和新疆吐鲁番地区等)。为了进一步了解以市级为单元的生态系统服务价值变化情况,按 5 个时期统计了 340 个市域单元的生态系统服务价值的增减变化。结果表明:1990—2000 年,205 个市域的生态系统服务价

值出现负增长,135 个市域的生态系统服务价值呈增长趋势。生态系统服务价值总量减少 721.70 亿元。这段时间生态系统服务价值总量减速较快,由于国家经济的发展,大量土地转为建筑用地、林木遭砍伐以及草地荒漠化,从而导致耕地、林地以及草地等类型面积减少。2000—2005 年,173 个市域的生态系统服务价值出现负增长,167 个市域的生态系统服务价值呈增长趋势。生态系统服务价值总量减少 96.05 亿元。2005—2010 年,183 个市域的生态服务价值出现负增长,155 个市域的生态服务价值呈增长趋势,2 个市域的生态服务价值保持

不变。生态系统服务价值总量减少 43.40 亿元。这段时间生态服务价值总量减速放缓,主要由于国家实施退耕还林还草工程、三北防护林以及其他修复生态系统的政策,使得林地和草地面积明显增加,生态系统服务价值量有所提高,中国整体生态环境状况有所改善。2010—2015 年,278 个市域的生态服务价值出现负增长,62 个市域的生态服务价值呈增长趋势,生态系统服务价值总量减少 244.54 亿元。这段时间生态服务价值总量在减少,说明我国生态系统仍遭到破坏,生态形势依然很严峻。

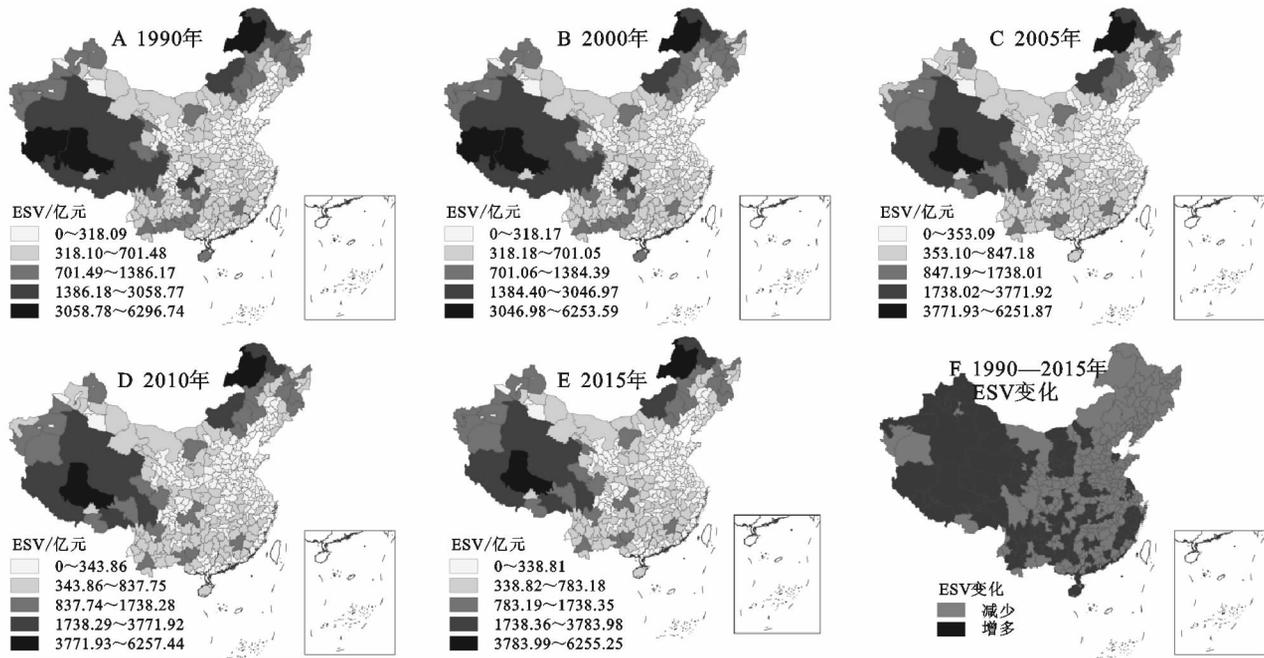


图 2 中国市级单元 ESV 空间演变及变化

表 5 城镇化水平与生态系统服务功能的相关系数

城镇化水平指数	土壤形成与保持	废物处理	气候调节	气体调节	食物生产	水源涵养	景观愉悦	生物多样性维持	原材料生产	服务功能总值
人口城镇化	-0.990**	-0.858*	-0.986**	-0.9794**	-0.312	-0.567	-0.845*	-0.959**	-0.877*	-0.962**
经济城镇化	-0.903*	-0.643	-0.873*	-0.899*	-0.617	-0.232	-0.598	-0.813*	-0.759	-0.808
土地城镇化	-0.971**	-0.829*	-0.964**	-0.950**	-0.445	-0.469	-0.766	-0.909*	-0.805	-0.904*
社会城镇化	-0.935**	-0.764	-0.920**	-0.913**	-0.542	-0.363**	-0.678	-0.852*	-0.748	-0.871*
综合城镇化	-0.951**	-0.748	-0.932**	-0.938**	-0.537	-0.358	-0.693	-0.874*	-0.792	-0.876*

注: ** 和 * 分别表示在置信度(双侧)为 0.01,0.05 时,相关性是显著的。

2.3 城镇化水平与生态系统服务价值关系分析

通过对中国城镇化水平和各生态系统服务功能进行相关性分析(表 5),可以看出,综合城镇化水平和生态系统服务功能总价值之间存在显著负相关关系。Pearson 系数为-0.876,并通过 0.05 信条水平检验。说明随着城镇化水平不断提高,极大程度会导致生态系统服务功能的降低。同时不同城镇化水平与各生态系统服务价值功能都存在负相关关系且存在很大差异。人口城镇化对生态系统的生物多样性维持、土壤形成与保持、气体调节、气候调节等功能有

较大的负面影响。相关系数均低于-0.90,1990—2015 年人口总量由 11.6 亿增长到 13.6 亿,25 a 净增长 2 亿人。人口城镇化水平越高,对生态系统的影响就越大。随着人口集聚和工业化发展,直接导致了大量的林地、耕地、湿地等面积减少。人口聚集导致人类活动加剧,大量的林地遭到破坏,工业化发展导致各类消耗能源增加以及废物排泄增加。从而导致气体调节、气候调节、土壤形成与保持、以及废物处理等功能服务价值的降低。经济城镇化水平由 1990 年的 0.003 8 增加到 2015 年的 0.048 1,经济城镇化导

致土壤形成与保持、生物多样性维持和气体调节等功能显著降低。相关系数均低于-0.80,随着经济的高速发展,特别是商业、服务业和工业发展,占用大量的农用地,增加了生态系统的压力。社会城镇化水平由1990年的0.0132增加到2015年的0.0399,社会城镇化对生态系统的生物多样性、维持土壤形成与保持、气候调节以及气体调节有较大的负面影响,对其他生态功能影响稍小。1990—2015年中国社会城镇化水平大幅提高,城市基础建筑数量增多,尤其以交通用地为主,各种错综复杂的交通网占据大量耕地、林地以及水域。从而影响了生态系统的各个功能,导致生态系统服务价值总量降低。土地城镇化对土壤形成与保持、气候调节、气体调节以及生物多样性维持影响显著。相关系数均低于-0.90。土地城镇化水平由1990年的0.0081增长到2015年的0.0239,土地城镇化主要表现在土地利用变化。这种变化对生态系统的各功能产生了一定的影响。1990—2015年,我国林地和湿地面积减少显著以及城市建设用地大幅度增长。尤其城市建设用地扩张,导致生态生产性用地减少,进而影响生态系统服务总价值。总的来说,人口城镇化和经济城镇化是导致生态系统服务价值减少的内在驱动力。特别是工业和人口聚集,使得对土地资源、水资源、其他能源消耗量大增以及产生大量污染。这就会影响生态系统中的土壤形成与保持、气体调节、气候调节等功能。土地城镇化是通过土地利用变化直接影响生态系统服务价值。社会城镇化则影响生态系统服务功能的结构。

3 结论与讨论

本文研究城镇化进程对生态系统服务价值的影响,为今后城市的可持续发展提供参考。通过计算各地级市城镇化水平和生态系统服务价值,经过SPSS相关性分析,研究出中国各地级市的城镇化水平特征、生态系统服务价值量变化以及之间的相关关系。结果表明:(1)1990—2015年,中国主要地级市城镇化水平基本都呈逐渐递增趋势,同时各地级市城镇化水平差异显著。城镇化水平的空间格局表现为高值集聚。东部沿海地区城镇化水平较高,中部城市次之,西部城市城镇化水平最低。且东部城市城镇化水平增速较快。(2)从1990—2015年中国生态系统服务总价值变化来看,25年间减少1105.68亿元,年均减少44.23亿元,总体呈减少趋势。从单项生态系统服务功能价值的变化来看,水源涵养、土壤形成与保持、废物处理、生物多样性维持对中国生态系统服务价值贡献最大。从以地级市为单元的生态系统服

务价值空间分布上来看,各地级市生态系统服务价值空间分布差距较大,总体来说空间分布呈现西高东低、北高南低的趋势。(3)综合城镇化水平和生态系统服务价值功能总值存在负相关关系。Pearson系数为-0.876,并通过0.05信条水平检验。说明随着城镇化水平不断提高,极大程度会导致生态系统服务功能的降低。同时不同城镇化水平与各生态系统服务功能价值都存在负相关关系。这就要求在发展城镇化的同时,应该采取相应的措施来保护生态环境,最终实现城镇化可持续发展的目的。

本文只是从宏观的角度研究了我国城镇化进程对生态服务价值的影响研究,大体研究出城镇化与生态系统服务价值之间的关系,实际上在研究城镇化与生态系统服务价值还存在一些疑问,比如建立城镇化水平综合体系选取的指标够不够?合不合理?还有熵值法能不能适用这个体系?研究生态系统服务价值时,生态系统服务价值系数选取的精度如何?其实本文的生态系统服务价值系数是根据已研究的文献而得到的,而生态系统服务价值系数与生态系统的结构、种类以及生物量等直接关系,这些因素都没有考虑。由于城镇化与生态系统服务价值的影响是一个比较复杂的过程,需要完善一套严谨的综合城镇化水平指标体系以及一套科学的生态系统服务价值计算体系。因此,城镇化与生态系统服务价值之间的关系还有待进一步验证。

参考文献:

- [1] 张军涛,刘丽莉.城市与区域可持续发展[M].辽宁大连:东北财经大学出版社,2008.
- [2] 陆大道,姚士谋,刘慧.2006中国区域发展报告:城镇化进程及空间扩张[M].北京:商务印书馆,2007.
- [3] Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, et al. Global change and the ecology of cities[J]. Science, 2008, 319 (5864):756-760.
- [4] 王德利,方创琳,杨青山,等.基于城市化质量的中国城市化发展速度判定分析[J].地理科学,2010,16(5):643-650.
- [5] 张同升,梁进社,宋金平.中国城市化水平测定研究综述[J].城市发展研究,2002,9(2):36-41.
- [6] 陈明星,陆大道,张华.中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J].地理学报,2009,64(4):387-398.
- [7] 臧锐,张鹏,杨青山,等.吉林省城市化水平综合测度及时空演变[J].地理科学,2013,33(10):1231-1237.
- [8] Butchart S, Dieme-Amting E, Gitay H, et al. Ecosystems and human well-being: wetland and water synthesis [M]. Washington Dc: World Resources Institute, 2005.
- [9] Daily G C. Nature's services: societal dependence on

- natural ecosystems. [J]. *Pacific Conservation Biology*, 1997, 6(2): 220-221.
- [10] Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *World Environment*, 1989, 387(1): 3-15.
- [11] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务评价研究进展[J]. *资源科学*, 2001, 23(6): 5-9.
- [12] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资源的价值评估[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [13] Farber S C, Costanza R, Wilson M A. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services[J]. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 375-392.
- [14] Bennett E M, Peterson G D, Gordon L J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. [J]. *Ecology Letters*, 2010, 12(12): 1394-1404.
- [15] Bryan B A, Grandgirard A, Ward J R. Quantifying and exploring strategic regional priorities for managing natural capital and ecosystem services given multiple stakeholder perspectives [J]. *Ecosystems*, 2010, 13(4): 539-555.
- [16] Krishnaswamy J, Bawa K S, Ganeshiah K N, et al. Quantifying and mapping biodiversity and ecosystem services: Utility of a multi-season NDVI based Mahalanobis distance surrogate[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(4): 857-867.
- [17] Estoque R C, Murayama Y. Landscape pattern and ecosystem service value changes: Implications for environmental sustainability planning for the rapidly urbanizing summer capital of the Philippines[J]. *Landscape & Urban Planning*, 2013, 116(4): 60-72.
- [18] Long H, Liu Y, Hou X, et al. Effects of land use transitions due to rapid urbanization on ecosystem services: Implications for urban planning in the new developing area of China[J]. *Habitat International*, 2014, 44: 536-544.
- [19] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47-53.
- [20] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(4): 480-490.
- [21] 吴玲玲, 陆健健, 童春富, 等. 长江口湿地生态系统服务功能价值的评估[J]. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(5): 411-416.
- [22] 王宗明, 张柏, 张树清. 吉林省生态系统服务价值变化研究[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(1): 55-61.
- [23] 梁发超, 刘黎明, 许瑾璐. 闽北典型盆地土地利用系统协调性研究: 以周宁县狮浦盆地为例[J]. *地理科学*, 2011, 31(4): 447-449.
- [24] 吴海珍, 阿如早, 郭田保, 等. 基于 RS 和 GIS 的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. *地理科学*, 2011, 31(1): 110-116.
- [25] 窦玥, 戴尔阜. 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): 311-321.
- [26] 周国华, 贺艳华. 长沙城市土地扩张特征及影响因素[J]. *地理学报*, 2006, 61(11): 1171-1180.
- [27] 朱文泉, 张锦水, 潘耀忠, 等. 中国陆地生态系统生态资产测量及其动态变化分析[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 586-594.
- [28] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919.
- [29] 孙洪波, 杨桂山, 万容容, 等. 昆山生态系统服务价值变化及其驱动力差异性分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(8): 759-764.
- [30] 严恩萍, 林辉, 王广兴, 等. 1990—2011年三峡库区生态系统服务价值演变及驱动力[J]. *生态学报*, 2014, 34(20): 5962-5973.
- [31] 赵小汎. 土地利用生态服务价值指标体系评估结果比较研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(1): 98-105.
- [32] 张凤太, 苏维词, 赵卫权. 基于土地利用/覆被变化的重庆城市生态系统服务价值研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(3): 21-25.
- [33] 岳书平, 张树文, 闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. *地理学报*, 2007, 62(8): 879-886.
- [34] 满苏尔沙比提, 陆吐布拉依明. 新疆南疆地区土地利用变化及其生态效应[J]. *地理科学*, 2011, 31(4): 440-446.
- [35] 秦伟, 朱清科, 赖亚飞. 退耕还林工程生态价值评估与补: 以陕西省吴起县为例[J]. *北京林业大学学报*, 2008, 30(5): 159-164.
- [36] 孟悦. 宁波市城市化发展对区域生态系统服务价值的影响[J]. *地域研究与开发*, 2016, 35(6): 81-86.
- [37] 赵卫, 刘景双, 孔凡娥, 等. 城市化对区域生态足迹供需的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(1): 120-126.
- [38] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. *生态学报*, 1999, 19(5): 607-613.
- [39] 蔡邦成, 周慧平. 昆山城市化与生态系统服务的关系定量研究[J]. *环境保护科学*, 2010, 36(4): 40-42.
- [40] 张骞, 高明, 杨乐, 等. 1988—2013年重庆市主城九区生态用地空间结构及其生态系统服务价值变化[J]. *生态学报*, 2017, 37(2): 566-575.
- [41] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [42] 国家统计局. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [43] 谢高地, 张彩霞, 张雷明. 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.