

快速城镇化背景下山地城市生态系统服务 价值变化梯度特征

——以贵阳市为例

韩会庆¹, 刘悦¹, 蔡广鹏², 白玉梅¹, 马淑亮¹, 陈思盈¹, 罗瑞尧¹

(1.贵州理工学院 建筑与城市规划学院, 贵阳 550003; 2.贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

摘要:山地城市的城镇化特点明显有别于其他城市,在快速城镇化背景下,其土地利用结构和格局势必发生剧烈改变,进而影响生态系统服务变化特征。为厘清城镇化影响下山地城市生态系统服务变化规律,以典型山地城市——贵阳市为例,基于 1995 年、2005 年、2015 年遥感解译数据,利用生态系统服务价值系数法,在 ArcGIS 软件支持下分析了快速城镇化背景下贵阳市生态系统服务变化的地形和社会经济梯度特征。结果表明:快速城镇化使得贵阳市中南部地区生态系统服务价值呈下降趋势。除人口密度梯度外,1995—2005 年和 2005—2015 年贵阳市供给服务价值在各地形梯度和社会经济梯度上均呈增加趋势,而调节服务、支持服务、文化服务和总服务价值随着地形及社会经济梯度的增加由下降趋势转为上升趋势,生态系统服务价值在人口密度梯度上呈现波动起伏特点。在山地地形约束下,快速城镇化与一系列生态保护工程耦合作用是形成贵阳市生态系统服务价值变化梯度特征的重要因素。

关键词:生态系统服务价值; 梯度特征; 城镇化; 贵阳市

中图分类号: X171.1; F062

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2020)05-0295-09

Characteristics of Gradient Change of the Value of Mountain Ecosystem Services with the Rapid Urbanization in Urban Area —A Case Study of Guiyang

HAN Huiqing¹, LIU Yue¹, CAI Guangpeng², BAI Yumei¹,
MA Shuliang¹, CHEN Siying¹, LUO Ruiyao¹

(1.College of Architecture and Urban Planning, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China;
2.College of Geography and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: The characteristics of urbanization in the mountain cities are obviously different cities. With the rapid urbanization, the structures and patterns of land-use are bound to change dramatically, which will affect the further changes of the ecosystem service characteristics in urban area. We took Guiyang, which is a typical mountain city, as an example to clarify the rules of the changes of ecosystem services under the influence of urbanization within mountain city. We analyzed the terrain and socio-economic characteristics of gradient change of the value of mountain ecosystem services under the background of rapid urbanization in Guiyang with the help of ArcGIS. The research is based on the remote sensing data of the year 1995, 2005 and 2015 by using the value coefficient method of ecosystem services. The results show that the ecosystem services value decreased due to rapid urbanization in central and southern Guiyang; the supply service value was increasing in all terrain gradients, social and economic gradients; except the population density gradient, the trends of regulating service, supporting service, cultural service and total service value had changed from decrease to increase with the increase in terrain and social-economic gradients from 1995 to 2005 and from 2005 to 2015. Ecosystem service values showed the characteristics of fluctuation in the gradient of population density. The coupling effect of rapid urbanization and a series of ecological protection projects under the constraints of mountainous terrain is the significant factor that causes the value changing of the gradient

收稿日期: 2019-11-20

修回日期: 2019-12-15

资助项目: 贵州省教育厅高校人文社科研究项目(2019gh018); 教育部人文社会科学研究项目(18YJCZH042)

第一作者: 韩会庆(1983—), 男, 山东济南人, 博士, 教授, 从事土地资源利用与保护、生态系统服务研究。E-mail: hhuiqing2006@126.com

通信作者: 蔡广鹏(1963—), 男, 贵州贵阳人, 硕士, 副教授, 从事土地利用规划研究。E-mail: cgp1963@126.com

characteristics of urban ecosystem in Guiyang City.

Keywords: ecosystem service value; gradient characteristics; urbanization; Guiyang City

城市作为人类活动最为强烈地区,其生态系统服务功能深受人为活动干扰^[1]。城市生态系统服务功能的高低对城市可持续发展至关重要^[2]。然而,在快速城镇化背景下,通过改变地表景观格局、生态过程、生物栖息地、生物地球化学循环等,影响城市生态系统结构和组分,从而深刻影响城市生态系统服务供给水平^[3]。因此,城镇化影响下生态系统服务研究成为国内外研究的焦点。

目前,城镇化与生态系统服务的关系研究主要集中于城镇化对生态系统服务的影响以及城镇化与生态系统服务之间相关性研究等方面,其中城镇化对生态系统服务的影响研究涉及城市生态系统^[4]、水生态系统^[5]、土壤生态系统^[6]、农林生态系统^[7]、文化生态系统^[8]、生物多样性^[9]等。研究区域包括城市圈^[10]、海岸带^[11]、特定空间尺度(如市域、地区)^[12-13]等。生态系统服务之间权衡与协同关系对城镇化的响应亦受到关注^[14]。研究时间既有过去时点,也涉及未来预估时点,如孟悦^[15]分析了 1991—2014 年宁波市城镇化对生态系统服务的影响,夏敏等^[16]通过预估宜兴市官林镇 2021 年和 2024 年生态用地,分析了未来生态用地变化趋势对生态系统服务的影响。城镇化与生态系统服务之间相关性研究主要关注城镇化与生态系统服务的空间相关性^[17]、城镇化对生态系统服务的作用机制^[18]等。研究方法有地理加权回归^[18]、空间统计法(如莫兰指数、空间自相关)^[17,19]、耦合协调度模型^[20]等。然而,这些研究较多关注我国东部和中部社会经济发达,且地形平坦的城市或地区,而对西部经济相对落后的山地城市关注较少。

贵阳市是贵州省省会,素有“林城”美誉,是我国西南部重要的中心城市之一,同时贵阳市位于云贵高原东部,属喀斯特丘原山地地貌,是典型的山地城市^[21]。2000 年以来,在高速经济发展推动下,快速城镇化使得贵阳市土地利用发生剧烈变化^[22],进而影响该市生态系统服务供给能力。然而,在快速城镇化影响下山地城市生态系统服务变化规律尚不清楚,这成为当前亟需解决的科学问题。鉴于此,以贵阳市为例,分析快速城镇化背景下山地城市生态系统服务价值变化的梯度特征,以期对山地城市土地资源合理利用,生态环境保护提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究数据包括土地利用、地形、社会经济 3 种

数据。土地利用数据是利用 1995 年、2005 年、2015 年 Landsat 遥感影像,采用人机交互方式解译获得。为验证解译精度,以贵阳市翁朵村为典型案例地,基于 0.5 m 分辨率的 Pleiades 高分卫星解译得到 2015 年翁朵村土地利用数据(采用人工目视解译,经实地验证,精度大于 93%),与基于 Landsat 遥感影像解译的土地利用数据进行比较,发现基于 Landsat 的土地利用数据精度较高(大于 83%),这说明解译的土地利用数据可以满足研究需要。依据研究区特点,将土地利用类型划分为水田、旱地、有林地、灌木林、草地、水域、建设用地、未利用地共 8 种地类;地形数据有 30 m DEM 和坡度数据,均下载于国家地球系统科学数据中心;社会经济数据包括来源于历年贵阳市统计年鉴的人口密度数据和粮食产量数据、来源于矢量化的贵阳交通图和行政区划图。

1.2 研究方法

(1) 生态系统服务价值评估方法。生态系统服务价值计算是依据谢高地等^[23]提出的中国生态系统服务价值系数法。由于该方法是适用于全国尺度,在贵阳市生态系统服务价值计算过程中需进行修正。具体修正步骤:贵阳市生态系统服务价值系数确定是基于 2010—2015 年贵阳市单位面积粮食产值。贵阳市主要粮食作物为玉米和水稻,种植结构约为 6:4,2010—2015 年玉米和水稻平均单产分别是 4 200 kg/hm²,5 550 kg/hm²,收购价格 1.9 元/kg 和 2.2 元/kg,根据种植比例,计算得到单位面积粮食社会经济产值 9 672 元/hm²,单位面积农田生态系统服务价值等于其社会经济产值 1/7,计算得到 1 个当量生态系统服务价值为 1 382 元。在系数修正基础上,利用各生态系统服务的当量表^[23]以及 1 个当量生态系统服务价值计算得到贵阳市生态系统服务价值系数(表 1)。

(2) 生态系统服务价值空间异质性和空间变化分析方法。利用 ArcGIS 软件的 Getis-Ord Gi 工具分析生态系统服务价值的热点和冷点。依据其计算的 Z 值和 p 值将热点和冷点分为高热点($Z \geq 2, p > 90\%$)、低热点($2 > Z \geq 1, p > 90\%$)、高冷点($Z < -2, p > 90\%$)、低冷点($-1 > Z \geq -2, p > 90\%$)和不显著($1 > Z \geq -1, p < 90\%$)5 种类型。其计算过程:基于三期单位面积生态系统服务价值空间图,分别转为生态系统服务价值 Point 文件,进而利用 Kriging 插值得到生态系统服务价值的热点和冷点空间图。生态系统服务价值空间变化分析方法是利用 ArcGIS

软件的栅格处理器,进行 1995—2005 年和 2005—2015 年生态系统服务价值叠加处理,进而得到 10 a 间生态系统服务价值变化的空间格局,负值表示减少区,正值表示增加区。

表 1 贵阳市单位面积生态系统服务价值系数元/hm²

服务类型		水田	旱地	有林地	灌木林	草地	水域	建设用地	未利用地
供给服务	食物生产	1880	1175	304	263	138	1106	0	0
	原料生产	124	553	719	594	193	318	0	0
	水资源供给	−3635	28	373	304	111	11457	0	0
调节服务	气体调节	1534	926	2349	1949	705	1064	0	28
	气候调节	788	498	7007	5846	1852	3165	0	0
	净化环境	235	138	2059	1769	608	7670	0	138
	水文调节	3759	373	4616	4630	1354	141296	0	41
支持服务	土壤保持	14	1423	2847	2377	857	1285	0	28
	维持养分循环	263	166	221	180	69	97	0	0
	生物多样性	290	180	2598	2170	774	3524	0	28
文化服务	美学景观	124	83	1133	954	346	2612	0	14

(3) 地形及社会经济梯度分级。地形起伏度梯度划分是利用栅格邻域计算工具,在一定窗口下通过计算最大高程与最低高程差值得到地形起伏度,并利用 ArcGIS 软件的自然断点法将其分为 6 个梯度带;地形位指数梯度划分是在计算任意坡度与平均坡度以及任意高程与平均高程之间关系,进而得到地形位指数,并利用自然断点法其分为 6 个梯度带;交通梯度划分是以贵阳市交通网为基础,从道路中心线往两

侧生成不同距离的缓冲区,并依据距离道路远近分为 6 个交通梯度带;人口密度梯度划分是以 2015 年贵阳市各区县人口密度图,将其分为不同人口密度等级,进而得到 6 个人口密度梯度带;城乡梯度划分是以各县区行政中心为基础,往周边生成不同距离的缓冲区,并依据距离行政中心远近分为 6 个城乡梯度带(表 2)。缓冲区的生成是利用 ArcGIS 软件多环缓冲工具。

表 2 贵阳市地形与社会经济梯度分级

梯度类型	指标	I	II	III	IV	V	VI
地形梯度	地形起伏度/(°)	<76	76~121	121~171	171~236	236~332	>332
	地形位指数	<0.95	0.95~1.13	1.13~1.31	1.31~1.49	1.49~1.71	>1.71
	交通缓冲带/m	<500	500~1500	1500~2500	2500~3500	3500~4500	>4500
社会经济梯度	人口密度/(人·km ^{−2})	>5000	1000~5000	800~1000	500~800	300~500	<300
	城乡距离/m	<2000	2000~5000	5000~8000	8000~12000	12000~15000	>15000

2 结果与分析

2.1 贵阳市生态系统服务价值变化整体特征

1995—2005 年贵阳市供给服务及总服务价值呈

上升趋势,调节服务、支持服务及文化服务价值均呈下降趋势,其中文化服务价值下降幅度较大。2005—2015 年贵阳市各类型服务和总服务价值均呈上升趋势,其中供给服务价值上升幅度较大(表 3)。

表 3 贵阳市生态系统服务价值的整体变化

服务类型	供给服务	调节服务	支持服务	文化服务	总服务
1995—2005 年变化量/10 ⁶ 元	18.56	−4.89	−7.25	−4.09	2.33
1995—2005 年变化率/%	2.48	−0.06	−0.28	−0.83	0.02
2005—2015 年变化量/10 ⁶ 元	15.56	108.51	26.31	6.04	156.42
2005—2015 年变化率/%	2.03	1.24	1.04	1.23	1.25

1995 年贵阳市生态系统服务价值冷点集中分布于南部地区和西北部,其他地区零星分布,且以低冷点为主,中南部为高冷点主要分布区。热点主要分布于西北部边缘地区、西南部以及东北部的零星地区;2005 年和 2015 年贵阳市生态系统服务价值冷热点与 1995 年较为接近,其中 2005 年的差异之处主要体现在西部的热点区、2015 年的差异区域主要有中南

部的高冷点、东部的低热点(图 1)。
1995—2005 年贵阳市大部分地区生态系统服务价值无变化。中西部、北部的零星地区生态系统服务价值增加,中部和北部的小部分地区生态系统服务价值减少。2005—2015 年贵阳市中南部地区生态系统服务价值变化较为明显,主要表现为生态系统服务价值减少,西南部和中部的部分地区生态系统服务价值增加较为明显(图 2)。

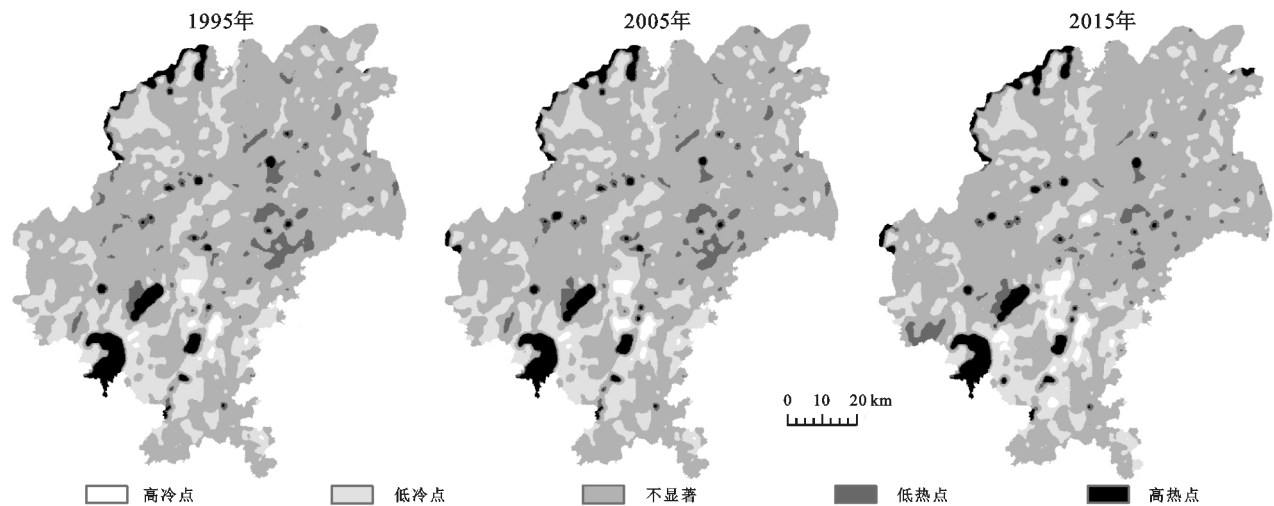


图 1 1995 年、2005 年、2015 年贵阳市生态系统服务价值热点分析

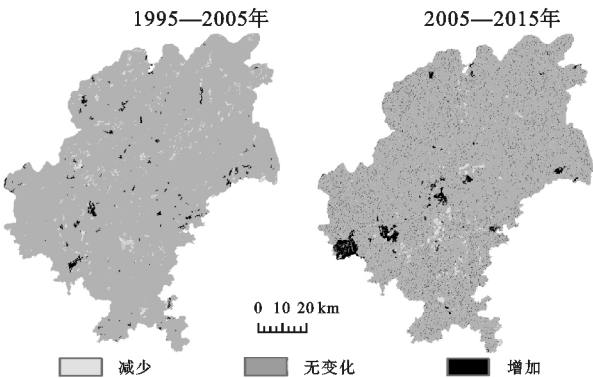


图 2 1995—2015 年贵阳市生态系统服务价值变化空间格局

2.2 贵阳市生态系统服务价值变化的地形梯度特征

随着地形起伏度的增加,1995 年、2005 年、2015 年调节服务价值呈现先下降后增加趋势,供给服务、支持服务、文化服务和总服务价值呈增加趋势,其中供给服务、支持服务、文化服务的变化特点更加接近,总服务价值呈线性增加趋势(图 3)。

1995—2005 年贵阳市供给服务价值在地形起伏度 I 至 VI 梯度均呈上升趋势,其中在 VI 梯度的上升幅度较大,其他服务及总服务价值在地形起伏度 I 至 V 梯度均呈下降趋势,在 VI 梯度均呈上升趋势,其中均在 I 梯度的下降幅度较大。2005—2015 年贵阳市供给服务价值在地形起伏度 I 至 VI 梯度均呈上升趋势,其中在 I 梯度的上升幅度较大;其他服务及总服务价值在地形起伏度 I 梯度均呈下降趋势,在 II 至 VI 梯度均呈上升趋势,其中均在 III 梯度的上升幅度较大(表 4)。

随着地形位指数梯度的增加,1995 年、2005 年、2015 年贵阳市供给服务、支持服务及文化服务价值均持续上升,而调节服务及总服务价值先下降后上升,II 梯度是最低点(图 4)。

1995—2005 年贵阳市供给服务价值在地形位指数 I 至 VI 梯度均呈上升趋势,其中在 I 梯度的上升

幅度较大;其他服务及总服务价值在地形位指数 I 至 V 梯度均呈下降趋势,在 VI 梯度均呈上升趋势,其中调节服务及总服务价值在 II 梯度的下降幅度较大,支持服务价值在 I 梯度的下降幅度较大,文化服务价值在 I 梯度的下降幅度较大。2005—2015 年贵阳市供给服务价值在地形位指数 I 至 VI 梯度均呈上升趋势,其中在 I 梯度的上升幅度较大;其他服务及总服务价值在地形位指数 I 梯度均呈下降趋势,在 II 至 VI 梯度均呈上升趋势,其中均在 VI 梯度的上升幅度较大(表 5)。

2.3 贵阳市生态系统服务价值变化的社会经济梯度特征

随着交通梯度的增加,1995 年、2005 年、2015 年贵阳市各类型服务和总服务价值均持续上升,且各类型的服务价值变化特征也较为接近(图 5)。

1995—2005 年贵阳市供给服务价值在交通 I 至 VI 梯度均呈上升趋势,其中在 VI 梯度的上升幅度较大;其他服务及总服务价值在交通 I 至 V 梯度均呈下降趋势,在 VI 梯度均呈上升趋势,其中均在 V 梯度的下降幅度较大。2005—2015 年贵阳市供给服务价值在交通 I 至 VI 梯度均呈上升趋势,其中在 VI 梯度的上升幅度较大;其他服务及总服务价值在交通 I 梯度均呈下降趋势,在 II 至 VI 梯度均呈上升趋势,其中均在 VI 梯度的上升幅度较大(表 6)。

随着人口密度梯度增加,1995 年、2005 年、2015 年贵阳市各类型服务和总服务价值均呈现波动起伏特点,供给服务价值的高值位于 V 和 VI 梯度,低值位于 II 和 IV 梯度,调节服务价值的高值位于 III 和 V 梯度,低值位于 I 和 II 梯度,支持服务价值的高值位于 V 和 VI 梯度,低值位于 II 梯度,文化服务价值的高值位于 V 和 VI 梯度,低值位于 II 梯度,总服务价值的高值位于 III 和 V 梯度,低值位于 I 和 II 梯度(图 6)。

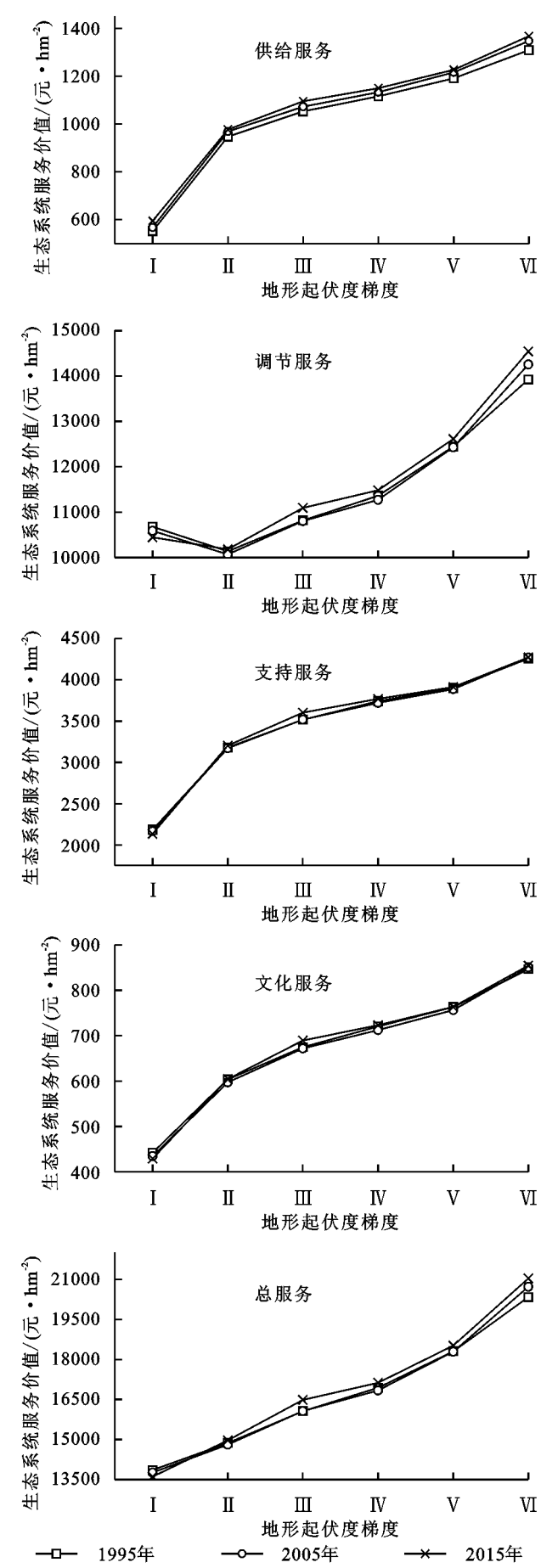


图3 贵阳市生态系统服务价值在地形起伏度梯度上特征

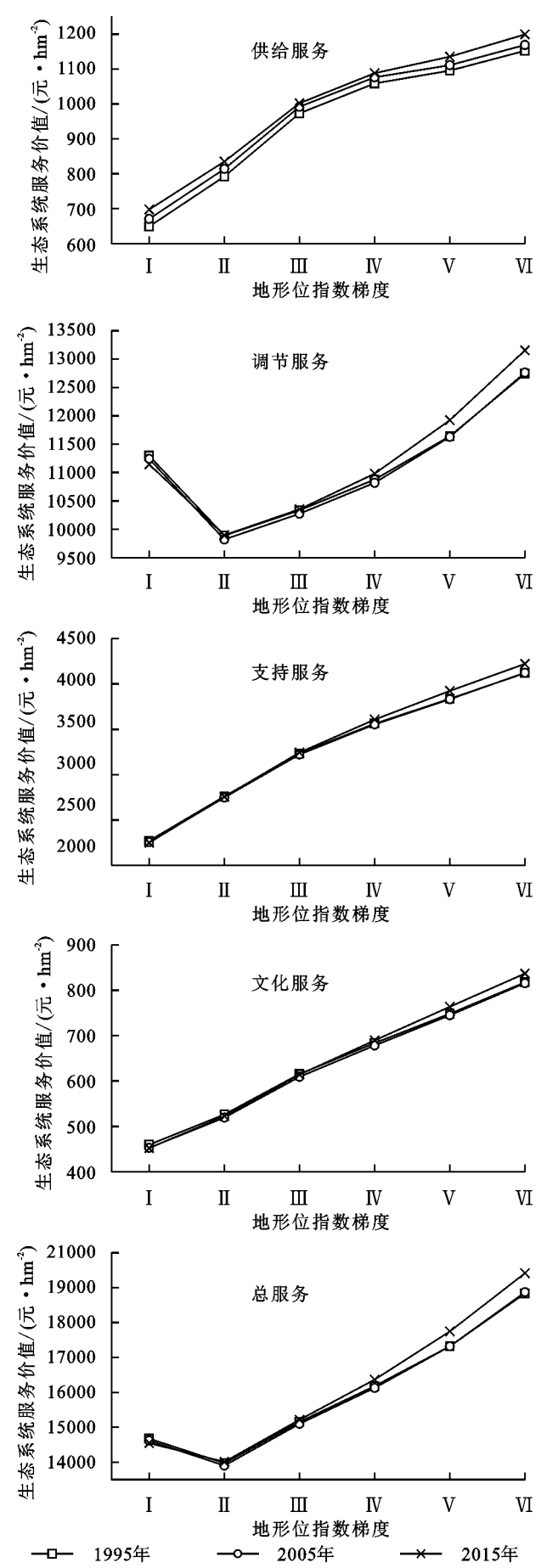


图4 贵阳市生态系统服务价值在地形位指数梯度上特征

表 4 贵阳市生态系统服务价值变化在地形起伏度梯度上的变化率 %

服务类型	1995—2005 年						2005—2015 年					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
供给服务	2.83	2.22	1.84	1.53	2.07	2.93	4.87	0.89	2.15	1.51	0.89	1.51
调节服务	−0.84	−0.67	−0.10	−0.77	−0.13	2.39	−1.35	1.11	2.67	1.87	1.49	2.00
支持服务	−0.81	−0.28	−0.03	−0.57	−0.35	0.28	−1.44	1.05	2.40	1.33	0.63	0.02
文化服务	−1.65	−1.05	−0.42	−1.14	−0.86	0.49	−1.30	1.18	2.63	1.52	0.92	0.48
总服务	−0.72	−0.41	−0.04	−0.59	−0.06	1.90	−1.10	1.08	2.58	1.71	1.24	1.50

表 5 贵阳市生态系统服务价值变化在地形位指数梯度上的变化率 %

服务类型	1995—2005 年						2005—2015 年					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
供给服务	3.32	2.76	1.93	1.67	1.43	1.45	4.04	2.58	1.00	1.10	2.22	2.58
调节服务	−0.48	−0.69	−0.59	−0.55	−0.11	0.16	−0.85	0.77	0.78	1.50	2.53	3.07
支持服务	−0.68	−0.46	−0.32	−0.20	−0.09	0.06	−0.27	0.29	0.69	1.50	2.38	2.40
文化服务	−1.52	−1.33	−0.98	−0.78	−0.44	0.20	−0.15	0.60	0.80	1.64	2.51	2.59
总服务	−0.38	−0.47	−0.39	−0.34	−0.02	0.20	−0.52	0.78	0.77	1.48	2.48	2.87

表 6 贵阳市生态系统服务价值在交通梯度上的变化率 %

服务类型	1995—2005 年						2005—2015 年					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
供给服务	2.12	1.93	2.42	2.30	1.37	6.32	2.15	2.73	1.11	1.34	1.85	2.93
调节服务	−0.80	−0.62	−0.24	−0.64	−0.89	5.94	−0.48	1.16	0.88	2.07	2.53	3.60
支持服务	−0.50	−0.44	−0.22	−0.29	−0.60	1.40	−0.05	0.76	0.96	1.44	2.17	3.98
文化服务	−1.20	−1.00	−0.82	−1.11	−1.30	2.24	−0.02	0.99	1.04	1.72	2.44	4.18
总服务	−0.60	−0.45	−0.10	−0.40	−0.70	5.11	−0.22	1.16	0.92	1.89	2.41	3.63

1995—2005 年贵阳市供给服务价值在人口密度 I , III 至 VI 梯度呈上升趋势,在 II 梯度呈下降趋势,其中在 VI 梯度的上升幅度较大;其他服务及总服务价值在人口密度 I 至 III , V , VI 梯度均呈下降趋势,在 IV 梯度均呈上升趋势,其中调节服务价值在 II 梯度的下降幅度较大,而支持服务、文化服务及总服务价值在 I 梯度的下降幅度较大;2005—2015 年贵阳市供给服务价值在人口密度 II 至 VI 梯度呈上升趋势,在 I 梯度呈下降趋势,其中在 III 梯度的上升幅度较大;调节服务价值在人口密度 I , V , VI 梯度呈上升趋势,在 II 至

IV 梯度呈下降趋势;支持服务、文化服务及总服务价值在人口密度 I , II , IV 梯度均呈下降趋势,在 III , V , VI 梯度均呈上升趋势,其中均在 II 梯度的下降幅度较大,在 V 梯度的上升幅度较大(表 7)。

随着城乡梯度的增加,1995 年、2005 年、2015 年贵阳市供给服务价值持续上升,调节服务及总服务价值呈先上升后下降再上升最后下降趋势,其中梯度 II 和 V 的服务价值较高,支持服务及文化服务价值呈先上升后下降趋势,其中梯度 IV 和 V 的服务价值较高(图 7)。

表 7 贵阳市生态系统服务价值在人口密度梯度上的变化率 %

服务类型	1995—2005 年						2005—2015 年					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
供给服务	2.71	−4.05	1.10	0.48	1.79	2.91	−13.24	0.19	9.68	1.47	2.32	0.94
调节服务	−2.18	−2.22	−0.52	0.24	−0.40	−0.63	0.69	−2.80	−0.08	−1.35	2.15	1.01
支持服务	−6.66	−2.48	−0.37	0.28	−0.45	−0.08	−2.33	−3.10	1.39	−1.18	2.42	0.26
文化服务	−7.60	−2.73	−0.59	0.14	−0.95	−1.02	−0.78	−3.03	1.44	−1.11	2.58	0.44
总服务	−3.06	−2.33	−0.43	0.25	−0.28	−0.30	−1.02	−2.81	0.60	−1.20	2.23	0.82

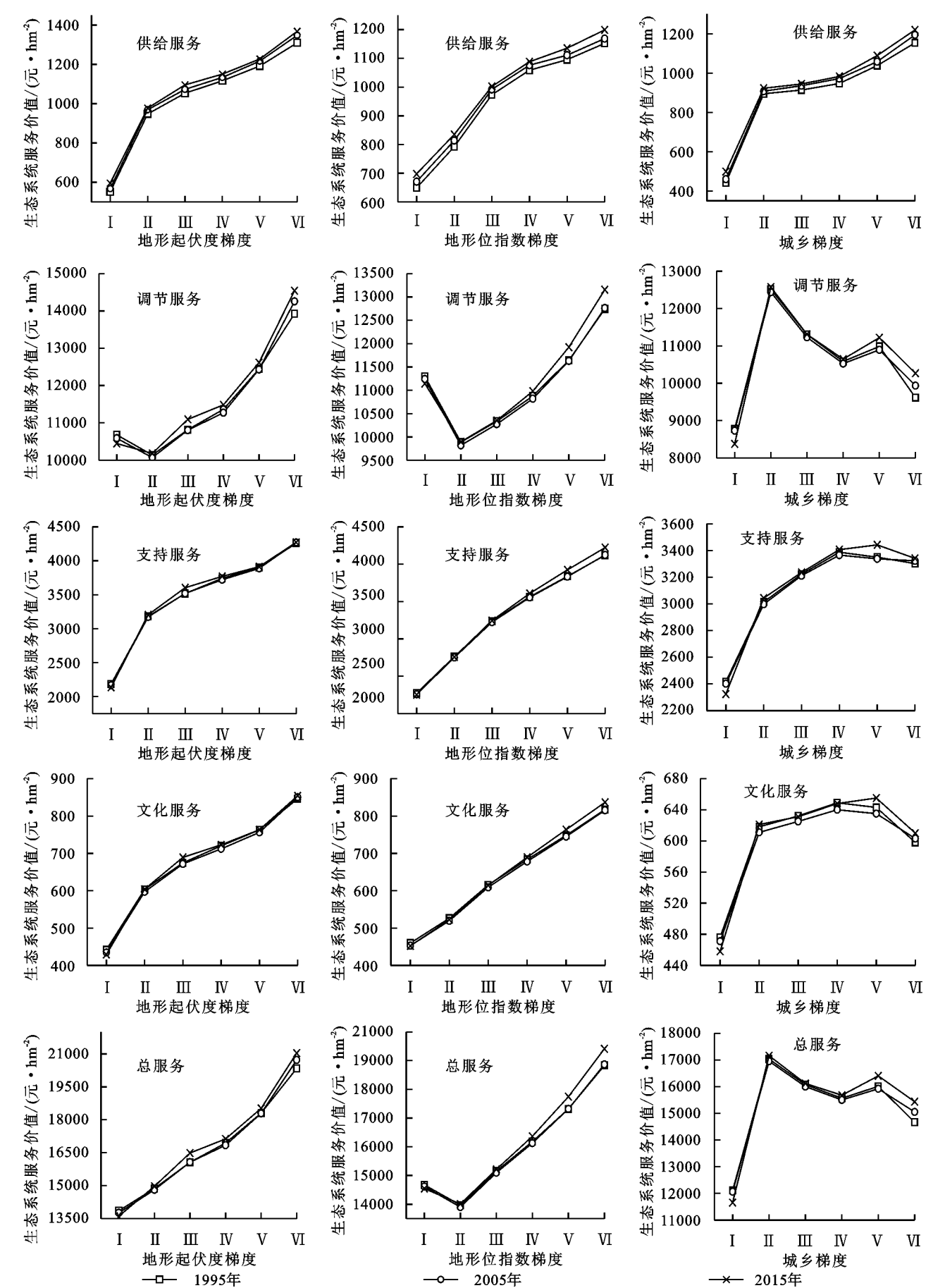


图5 贵阳市生态系统服务价值在交通、人口密度、城乡梯度上特征

1995—2005 年贵阳市供给服务价值在城乡Ⅰ至Ⅵ梯度均呈上升趋势,其中在Ⅰ梯度的上升幅度较大;其他服务及总服务价值在城乡Ⅰ至Ⅴ梯度均呈下降趋势,在Ⅵ梯度均呈上升趋势,其中调节服务及总服务价值均在Ⅴ梯度的下降幅度较大,而支持服务价值在Ⅰ梯度的下降幅度较大,文化服务价值在Ⅳ梯度的下降幅度较大。2005—

2015 年贵阳市供给服务价值在城乡Ⅰ至Ⅵ梯度均呈上升趋势,其中在Ⅰ梯度的上升幅度较大;其他服务价值及总服务价值在城乡Ⅰ梯度均呈下降趋势,在Ⅱ至Ⅵ梯度均呈上升趋势,其中支持服务、文化服务及总服务价值在均在Ⅴ梯度的上升幅度较大,而调节服务价值在Ⅵ梯度的上升幅度较大(表 8)。

表 8 贵阳市生态系统服务价值在城乡梯度上的变化率 %

服务类型	1995—2005 年						2005—2015 年					
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
供给服务	4.18	1.46	2.38	2.61	1.92	3.51	8.45	1.60	0.92	1.16	2.97	2.18
调节服务	-0.49	-0.59	-0.68	-0.54	-0.82	3.33	-4.04	1.09	0.71	1.13	3.01	3.34
支持服务	-0.64	-0.51	-0.34	-0.63	-0.38	0.66	-3.22	1.53	0.74	1.20	3.14	0.57
文化服务	-1.07	-1.04	-1.08	-1.34	-1.20	0.84	-2.90	1.59	0.87	1.21	3.24	1.29
总服务	-0.37	-0.49	-0.45	-0.40	-0.57	2.64	-3.35	1.21	0.73	1.15	3.05	2.55

3 讨论与结论

3.1 讨论

在山地地形约束下,贵阳城镇化过程主要沿地形平坦的平坝地扩张^[24],这使得城镇化集中于地形起伏度和地形位指数较小的梯度带,进而导致这些区域生态系统服务价值下降。同时由于山地地形的约束,贵阳市交通、行政中心往往集中于低缓平坝地,随着城镇化扩张,这些距离交通线和行政中心近的梯度带生态系统服务价值下降。此外,受地形限制,地形起伏和地形位指数较大的梯度、远离交通和行政中心的梯度带主要以山地为主,这些区域属典型脆弱的喀斯特山地生态系统,近年来贵阳市实施的退耕还林还草、天然林保护工程等^[25]使得这些山地为主的梯度带生态系统服务价值呈增加趋势。从空间格局看,贵阳市中南部为盆坝地,周边为山地。在快速城镇化影响下,贵阳市中南部地形平坦的盆坝地(亦是中心城区)人类活动强烈,因此中南部地区生态系统服务价值有所降低,这在高冷点的分布变化有所体现,而周边山地在一系列生态保护措施下,其生态系统服务价值有所提高。值得注意的是,在山地地形影响下,为了疏散中心城区人口压力,贵阳市城镇化并不集中于人口稠密区,往往选取有一定人口基础,地形相对平坦的地区^[26],这使得人口密度对城镇化的影响较小,故而在生态系统服务价值变化在人口密度梯度上呈现波动起伏特点。

贵阳市生态系统服务价值变化的地形梯度特征与陈奕竹等^[27]对湘西地区的研究结果较为相似,这说明相似两个地区的人类活动在山地上表现具有一

致性。然而,由于人类对不同地域山地的利用存在差异,进而对生态系统服务价值的影响不同,这在本研究与李理等^[28]对华北地区淇河研究结果的差异性有所体现。

3.2 结论

贵阳市 1995—2005 年和 2005—2015 年供给服务和总服务价值增加,调节服务、支持服务及文化服务价值在 1995—2005 年呈下降趋势,在 2005—2015 年呈增加趋势;在地形影响下山地城市生态系统服务价值变化空间格局破碎化突出,地形相对平坦区域是生态系统服务价值变化的主要区域。随着地形起伏度、地形位指数、交通梯度、城乡梯度的增加,供给服务呈增加趋势。除高梯度外,调节服务、支持服务、文化服务和总服务价值在 1995—2005 年地形起伏度、地形位指数、交通、城乡的中低梯度上呈下降趋势。除低梯度外,在中高梯度上调节服务、支持服务、文化服务和总服务价值 2005—2015 年呈上升趋势。各种服务及总服务价值在人口密度梯度上呈现下降—上升—下降的波动特点。

参考文献:

[1] 虎陈霞,郭旭东,连纲,等.长三角快速城市化地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以嘉兴市为例[J].长江流域资源与环境,2017,26(3):333-340.

[2] 税伟,付银,林咏园,等.基于生态系统服务的城市生态安全评估、制图与模拟[J].福州大学学报:自然科学版,2019,47(2):143-152.

[3] 王莉雁,肖焱,江凌,等.城镇化发展对呼包鄂地区生态系统服务功能的影响[J].生态学报,2016,36(19):6031-6039.

[4] Das M, Das A. Dynamics of Urbanization and its impact

- on Urban Ecosystem Services(UESs): A study of a medium size town of West Bengal, Eastern India[J]. *Journal of Urban Management*, 2019, 8(3): 420-434.
- [5] Hoyer R, Chang H. Assessment of freshwater ecosystem services in the Tualatin and Yamhill basins under climate change and urbanization[J]. *Applied Geography*, 2014, 53: 402-416.
- [6] 吴绍华, 虞燕娜, 朱江, 等. 土壤生态系统服务的概念、量化及其对城市化的响应[J]. *土壤学报*, 2015, 52(5): 970-978.
- [7] 叶延琼, 章家恩, 陈丽丽, 等. 城市化背景下广佛都市圈农林生态系统服务价值[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(5): 1619-1627.
- [8] Jaligot R, Kemajou A, Chenal J. Cultural ecosystem services provision in response to urbanization in Cameroon[J]. *Land Use Policy*, 2018, 79: 641-649.
- [9] Cheng F, Liu S, Hou X, et al. The effects of urbanization on ecosystem services for biodiversity conservation in southernmost Yunnan Province, Southwest China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(7): 1159-1178.
- [10] Wang J, Zhou W, Pickett S T A, et al. A multiscale analysis of urbanization effects on ecosystem services supply in an urban megaregion[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 662: 824-833.
- [11] 叶梦姚, 史小丽, 李加林, 等. 快速城镇化背景下的浙江省海岸带生态系统服务价值变化[J]. *应用海洋学学报*, 2017, 36(3): 427-437.
- [12] Yuan Y, Wu S, Yu Y, et al. Spatiotemporal interaction between ecosystem services and urbanization: Case study of Nanjing City, China[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 95: 917-929.
- [13] 郑晓奇, 苑晶晶, 吕永龙, 等. 快速城镇化背景下环渤海地区生态系统服务价值变化[J]. *环境污染与防治*, 2019, 41(9): 1125-1131.
- [14] 孙泽祥, 刘志锋, 何春阳, 等. 中国快速城市化干燥地区的生态系统服务权衡关系多尺度分析: 以呼包鄂榆地区为例[J]. *生态学报*, 2016, 36(15): 4881-4891.
- [15] 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.
- [16] 夏敏, 张子红, 赵炳梓, 等. 快速城镇化地区镇域生态用地变化模拟及其生态系统服务价值响应[J]. *土壤*, 2018, 50(5): 1022-1031.
- [17] 姚小微, 曾杰, 李旺君. 武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(9): 249-256.
- [18] Su S, Li D, Xiao R, et al. Spatially non-stationary response of ecosystem service value changes to urbanization in Shanghai, China[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 45: 332-339.
- [19] Zhang Y, Liu Y, Zhang Y, et al. On the spatial relationship between ecosystem services and urbanization: A case study in Wuhan, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 637: 780-790.
- [20] 渠玉莲, 郭宗逵. 南京市城市化与土地生态系统服务耦合度分析[J]. *安徽农业大学学报*, 2016, 43(4): 576-581.
- [21] 牛潜, 周旭, 张继, 等. 喀斯特山地城市生态系统弹性变化分析: 以贵阳市区为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(3): 722-730.
- [22] 陈娟, 王龙, 赵欣运, 等. 贵阳市城镇化进程与土地利用转变关系[J]. *地球科学*, 2019, 44(9): 2944-2954.
- [23] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. *资源科学*, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [24] 李卫海, 李阳兵, 周焱, 等. 1991—2006年贵阳市土地利用变化及其驱动因素分析[J]. *资源科学*, 2008, 30(12): 1890-1896.
- [25] 韩会庆, 王喆, 张英佳, 等. 2005—2015年贵阳市生境退化程度对土地利用变化的响应[J]. *中国岩溶*, 2018, 37(2): 185-191.
- [26] 王后阵, 蔡广鹏, 张朝琼. 贵阳市土地利用景观的社会经济梯度变化分析[J]. *四川农业大学学报*, 2015, 33(3): 306-313.
- [27] 陈奕竹, 肖轶, 孙思琦, 等. 基于地形梯度的湘西地区生态系统服务价值时空变化[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2019, 27(4): 623-631.
- [28] 李理, 朱文博, 李艳红, 等. 基于地形梯度特征淇河流域生态系统服务价值损益[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(5): 287-295.