

石门县生态系统服务价值对 LUCC 的响应分析

申海建

(湖南省测绘科技研究所, 长沙 410004)

摘 要:LUCC 对维持生态系统服务功能起决定性的作用, 是全球环境研究的热点和前沿问题。采用 Costanza 生态系统服务价值计算方法, 在对石门县生态系统单位面积生态服务价值系数进行修正的基础上, 探讨了石门县 2001—2013 年生态系统服务价值对 LUCC 的响应情况, 并构建灰色模型对其发展趋势进行了预测。结果表明: (1) 研究期内, 石门县生态系统服务价值变化分两个阶段: 第一阶段是上升阶段, 从 2001 年的 6.5007×10^9 元增加到 2004 年的 6.5199×10^9 元, 第二阶段是下降阶段, 生态系统服务价值从 2004 年的 6.5199×10^9 元持续下降到 2013 年的 6.5076×10^9 元。 (2) 根据预测出的石门县 2016—2025 年各类土地利用数量情况, 得到 2025 年石门县 ESV 将减少到 6.4641×10^9 元。同时生态系统单项服务价值出现有增有减的趋势, 其中气体调节、气候调节、土壤形成与保护、原材料价值出现下降趋势, 而水源涵养、废物处理、生物多样性保护、食物生产、娱乐文化价值出现上升趋势。该文为石门县土地利用与环境保护提供科学依据和技术支持。

关键词:LUCC; 生态系统服务价值; GM(1,1)模型; 石门县

中图分类号:F301.24;X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)04-0110-06

Analysis of Response of Ecosystem Service Value to LUCC in Shimen County

SHEN Haijian

(Institute of Mapping of Hu'nan Province, Changsha 410004, China)

Abstract: Land use/cover change plays a decisive role in the ecosystem services function, which is a hot and frontier issue in the global environment. In the present study, the effects of land use change are discussed based on the obtained values of ecosystem services in Shimen County from 2001 to 2013, and the change trend of land use change is predicted by the methods that the values of ecosystem services proposed by Costanza (ESV) are calculated with regard to the value coefficients of ecosystem services per unit area in the Chinese terrestrial ecosystem, as well as the Gray Model (1,1). The results showed that: (1) during the studied period, the value of ecosystem services in Shimen County was divided into two stages: the first phase was the rising phase that the value increased from 6.5007×10^9 yuan in 2001 to 6.5199×10^9 yuan in 2004, the second stage was the declining stage that the value of ecosystem services declined from 6.5199×10^9 yuan in 2004 to 6.5076×10^9 yuan in 2013; (2) according to the forecast of the amount of land use in Shimen County 2016 to 2025, ESV of Shimen County in 2025 will be reduced to 6.4641×10^9 yuan. At the same time, the value of ecosystem services is sometimes increasing or decreasing, while the values of gas regulation, climate regulation, soil formation and protection, and raw materials are reduced, and the values of water conservation, waste treatment, biological diversity protection, food production, entertainment and culture appear to rise. This paper can provide scientific basis and technical support for land use and environmental protection in Shimen County.

Keywords: LUCC; ecosystem service value; GM(1,1) model; Shimen County

随着全球变化研究工作的深入, 土地利用/土地覆盖的变化 (Land-use and land-cover change,

LUCC) 研究逐渐成为全球环境变化研究的重要领域, 是全球环境研究的热点和前沿问题^[1]。土地利

用/土地覆盖变化影响到气候、土壤、植被、水文与生物多样性等方面,与全球生态环境演变以及人类与环境之间相互作用的可持续性密切相关,是所有与可持续发展相关问题的核心。近年来各个国家、组织、研究团体乃至个人都根据自己面对的研究对象、问题和区域特点进行了大量的研究,其中一个重要的方面就是研究LUCC时空变化、动力机制和环境效应,同时开展了许多案例研究,包括全球尺度上开展的LUCC对全球气候变化的影响,区域尺度上的研究土地退化、水文过程、土壤环境、生物多样性等效应方面,局地尺度上进行的地方生态环境变化的研究。而且土地利用与土地覆盖作为一种人类的社会经济活动,也是人类对全球变化所做出的反映的一种方式,其通过改变生态系统的结构和功能,对维持生态系统服务功能起决定性的作用^[2]。

国外学者在生态系统服务价值对LUCC的响应分析方面做了大量的理论研究和实证分析^[3-7],国内研究者也从不同尺度进行了积极探讨,如彭建、伍星等^[8-9]探讨了喀斯特山区和长江上游地区的土地利用/覆被变化情况,谢高地、何浩等^[10-13]则重点研究了生态系统服务价值测量的方法,郑江坤、徐庭慎、李偲、汤洁、刘永强、郭荣中等^[14-19]都从不同角度对生态系统服务价值对LUCC的响应进行了分析,取得了较丰富的研究成果。但是较多学者都是着眼于国家、区域、省域、单一生态系统等大尺度开展研究的,而较少从县域尺度开展研究。因此,本文选取武陵山区的湖南省石门县为研究对象,研究2001—2013年13年间石门县生态系统服务价值对土地利用变化的响应,并采用灰色预测模型对2016—2025年的土地利用变化进行模拟预测,进而对同期的生态系统服务价值进行预测,可为石门县进行土地资源空间优化布局与合理调整提供参考依据。

1 研究区概况

石门县隶属于湖南省常德市,属于武陵山区,澧水中游,地处武陵山区向洞庭湖平原过渡地带,地形呈现弯把葫芦状,地势自西向东倾斜,西北部群山叠翠,东南部为丘陵平原。地处东经110°29′—111°33′,北纬29°16′—30°08′。下辖43个居委会,8个乡,11个镇。东连澧县、临澧县,南接慈利县、桃源县,西抵桑植县、湖北省鹤峰县,北毗湖北省五峰县、松滋市。2013年末,土地总面积3 970.13 km²;总人口66.64万人,其中城镇人口9.90万人,农村人口56.74万人;地区生产总值180.56亿元,其中第一产业33.26亿元,第二产业78.18亿元,第三产业69.12亿元,第一、二、三

产业结构比例为18.42:43.30:38.28,人均GDP为30 054元;属中亚热带向亚热带过渡的季风气候区,境内年平均气温16.70℃,最冷的一月平均气温5℃,最热的七月,平均气温28.6℃,全年无霜期282 d,日照1 646.9 h,年平均降雨量1 540 mm。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 土地利用变化分析 土地利用动态变化度可定量描述区域内各类型土地利用变化的速度^[20]。单一土地利用类型动态度(K)的表达式为:

$$K = (U_b - U_a) / U_a \times T^{-1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: U_a 和 U_b 代表研究期初和期末某种土地利用类型的数量; T 代表研究时段长,一般设定为年。

2.1.2 生态系统服务价值评价方法 根据Costanza^[10]和谢高地等^[11]的研究成果可知,湖南省生态服务价值系数修正为1.95。根据石门县2001—2013年平均粮食产量为4 900.71 kg/hm²,为同期湖南省平均粮食产量5 717.42 kg/hm²的0.857 7倍,由此将石门县农田生态服务价值系数进一步修正为1.672 5。粮食单价取2013年常德市域范围粮食平均价格2.09元/kg,根据1个生态服务价值当量经济价值等于同期石门县平均粮食单产市场价值的1/7为计算依据,得出石门县农田自然粮食产量的经济价值约为1 460.83元/hm²。由此计算出石门县不同生态系统单位面积生态服务价值(表1)。

2.1.3 生态系统服务价值计算方法 在土地利用类型与生态系统类型及价值的对应原则如下:耕地与农田对应;园地取森林和草地的平均值(园地主要包括果园、桑园、茶园、其他园地);林地与森林对应;未利用土地对应荒漠(原未利用土地包括荒草地、盐碱地、沼泽地、沙地、裸土地、裸岩石砾地、田坎、其他。本文对基础数据处理时,将荒草地计入草地;沼泽地计入湿地;田坎计入耕地。扣除上述三种地类后剩下的盐碱地、沙地、裸土地、裸岩石砾地、其他之和为未利用土地面积);居民点及工矿用地、交通用地对应建设用地,建设用地生态系统服务价值取为0。并据此测算出各类土地利用类型单位面积年度生态系统服务功能价值(VC_k)。则生态系统服务价值(ESV)和生态系统单项服务价值(ESV_f)的计算公式为:

$$ESV = \sum (A_k \times VC_k) \quad (2)$$

$$ESV_f = \sum (A_k \times VC_k) \quad (3)$$

式中: A_k 代表研究区域 k 种土地利用类型的面积(hm²); VC_k 代表单位面积上土地利用类型 k 的生态系统单项服务价值(元/hm²)。

表 1 石门县生态系统单位面积生态服务价值表 元/hm²

生态系统 服务类型	森林		草地		农田		湿地		水体		荒漠	
	当量	价值	当量	价值	当量	价值	当量	价值	当量	价值	当量	价值
气体调节	3.50	3057.04	0.80	698.75	0.84	730.41	1.80	1572.19	0.00	0.00	0.00	0.00
气候调节	2.70	2358.29	0.90	786.10	1.49	1300.14	17.10	14935.82	0.46	401.78	0.00	0.00
水源涵养	3.20	2795.01	0.80	698.75	1.00	876.50	15.50	13538.32	20.38	17800.71	0.03	26.20
土壤形成与保护	3.90	3406.42	1.95	1703.21	2.44	2132.81	1.71	1493.58	0.01	8.73	0.02	17.47
废物处理	1.31	1144.21	1.31	1144.21	2.74	2395.76	18.18	15879.14	18.18	15879.14	0.01	8.73
生物多样性保护	3.26	2847.41	1.09	952.05	1.19	1037.19	2.50	2183.60	2.49	2174.87	0.34	296.97
食物生产	0.10	87.34	0.30	262.03	1.67	1460.83	0.30	262.03	0.10	87.34	0.01	8.73
原材料	2.60	2270.94	0.05	43.67	0.17	146.08	0.07	61.14	0.01	8.73	0.00	0.00
娱乐文化	1.28	1118.00	0.04	34.94	0.02	14.61	5.55	4847.59	4.34	3790.73	0.01	8.73
合计	21.85	19084.66	7.24	6323.71	11.56	10094.32	62.71	54773.42	45.97	40152.04	0.42	366.84

2.1.4 敏感性分析方法 本文引入敏感性指数 (Coefficient of Sensitivity,CS)来反映 ESV 对 VC 变化的依赖程度。敏感性指数(CS)计算方法如下:

$$CS=\left|\frac{(ESV_j-ESV_i)/ESV_i}{(VC_{jk}-VC_{ik})/VC_{ik}}\right|$$

(4)

式中:*i* 和 *j* 代表初始价值和生态价值系数调整后的价值;当 CS<1,表明 ESV 对于 VC 是缺乏弹性的,反之当 CS>1,表明 ESV 对于 VC 是富有弹性的。

2.1.5 土地利用对生态服务价值影响预测 灰色 GM(1,1)模型是通过独特的数据处理即数据累加生成方法建立一阶线性微分方程模型进行单因素预测,可以取得较好的预测结果^[21]。推导出的模型如下:

$$\hat{x}^{(1)}(t+1)=\left[x^{(0)}(1)-\frac{u}{a}e^{-at}\right]+\frac{u}{a},$$

$$[x^{(1)}(1)\supset x^{(0)}(1)]$$

(5)

$$\hat{x}^{(0)}(t)=\hat{x}^{(1)}(t)-\hat{x}^{(1)}(t-1)$$

(6)

式中:*a* 和 *u* 为常数。本文为了预测在未来研究区域生态系统服务价值对 LUCC 的响应情况,首先利用灰色 GM(1,1)模型对石门县各类土地利用类型面积在 2016—2025 年期间的变化进行预测,并计算出 2016—2025 年石门县生态系统服务总价值;同时对石门县生态系统单项服务价值进行了预测。

2.2 数据来源

本研究基础数据来源于湖南省国土资源厅关于石门县的 2001—2013 年土地变更调查和第二次土地调查成果。一级地类 9 个,分别是耕地、园地、林地、草地、湿地、居民点及工矿用地、交通用地、水域、未利用土地。社会经济数据来源于同期湖南统计年鉴^[22]。

3 结果与分析

3.1 土地利用动态变化

石门县土地利用类型面积变化见表 2,2001—2013 年,在土地面积增减方面:石门县内除水域外,其余各类土地利用均发生了较大的变化。园地、林

地、居民点及工矿用地、交通用地面积是增加的,分别增加了 354.28,1 093.69,486.20,162.79 hm²;其中林地增加居首位。耕地、草地、湿地、水域、未利用土地面积净减,分别减少了 710.92,1 247.20,60.61,1.83,76.40 hm²;其中草地减少最多,其次是耕地。在变化幅度方面:草地变化幅度最大,高达—7.41%;其次是交通用地和湿地,分别为 4.47%和—4.42%;最小的是水域,仅为—0.011 3%。石门县耕地、草地、湿地、水域用地持续减少,建设用地不断增加,这与县域经济社会快速发展,城市化水平不断提高,居民点及工矿用地、交通用地不断占用其他土地;以及园地和林地面积净增加与退耕还林政策、大力推广优质石门蜜桔产业化的宏观背景密切相关。

3.2 生态系统服务价值和生态系统单项服务价值变化

运用表 1 和表 2,根据式(2),估算了 2001—2013 年石门县生态系统服务功能价值(表 3)。从表 3 可知:研究期间石门县的 ESV 呈先上升后下降的趋势。从 2001 年的 6.500 7×10⁹ 元增加到 2004 年的 6.519 9×10⁹ 元,之后持续减少到 2013 年的 6.507 6×10⁹ 元,生态系统服务价值净增加 6.889×10⁶ 元。其中耕地、草地、湿地、水域、未利用土地 ESV 减少,其减少量分别是 7.176×10⁶ 元、7.887×10⁶ 元、3.320×10⁶ 元、7.3×10⁴ 元、2.8×10⁴ 元。园地、林地 ESV 增加,其增加量为 4.501×10⁶ 元、2.087 3×10⁷ 元。

根据式(3),计算出 2001—2013 年石门县生态系统单项服务价值(表 4)。从表 4 可知:在研究期间气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、生物多样性保护、原材料、娱乐文化等七项功能价值有所增加,其中原材料价值增加最多,其次是气体条件和生物多样性保护。废物处理、食物生产功能价值净减少,减少量分别为 2.5×10⁶ 元和 1.2×10⁶ 元,分别少总量的 66.81%和 33.19%。

表 2 石门县土地利用类型面积变化和动态度

土地类型	土地利用分类面积/hm ²					总面积增 减量/hm ²	变化 率/%	动态 度
	2001 年	2004 年	2007 年	2010 年	2013 年			
耕地	55037.35	53803.93	53950.28	54077.98	54326.43	—710.92	—1.29	—0.10
园地	16412.98	17009.55	16888.01	16815.37	16767.26	354.28	2.16	0.17
林地	256565.94	258176.11	258141.71	257902.03	257659.63	1093.69	0.43	0.03
草地	16832.62	15787.31	15775.02	15709.68	15585.42	—1247.20	—7.41	—0.57
湿地	1371.59	1369.75	1311.43	1311.11	1310.98	—60.61	—4.42	—0.34
居民点及工矿用地	15064.45	15140.30	15232.14	15433.04	15550.65	486.20	3.23	0.25
交通过地	3638.98	3644.84	3662.88	3749.46	3801.77	162.79	4.47	0.34
水域	16257.90	16258.61	16250.12	16244.68	16256.07	—1.83	—0.0113	0.0009
未利用土地	15831.02	15822.43	15801.24	15769.48	15754.62	—76.40	—0.48	—0.04

表 3 石门县生态系统服务价值变化

土地利用 类型	单位面积生态 价值/(元·hm ⁻²)	生态价值/10 ⁷ 元					价值变化/ 10 ⁵ 元	价值变化 率/%
		2001 年	2004 年	2007 年	2010 年	2013 年		
耕地	10094.32	55.56	54.31	54.46	54.59	54.84	—71.76	—1.29
园地	12704.18	20.85	21.61	21.45	21.36	21.30	45.01	2.16
林地	19084.66	489.65	492.72	492.65	492.20	491.73	208.73	0.43
草地	6323.71	10.64	9.98	9.98	9.93	9.86	—78.87	—7.41
湿地	54773.42	7.51	7.50	7.18	7.18	7.18	—33.20	—4.42
水域	40152.04	65.28	65.28	65.25	65.23	65.27	—0.73	—0.01
未利用土地	366.84	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	—0.28	—0.48
合计	143499.18	650.07	651.99	651.55	651.07	650.76	68.89	0.11

表 4 石门县生态系统单项服务功能价值变化

生态系统 服务功能	生态系统单项服务价值/10 ⁷ 元					价值量变化/10 ⁷ 元				
	2001 年	2004 年	2007 年	2010 年	2013 年	2001—2004	2004—2007	2007—2010	2010—2013	2001—2013
气体调节	86.93	87.37	87.34	87.25	87.18	0.44	—0.03	—0.08	—0.07	0.25
气候调节	74.27	74.49	74.40	74.34	74.30	0.23	—0.10	—0.06	—0.04	0.03
水源涵养	111.42	111.79	111.68	111.59	111.55	0.37	—0.11	—0.08	—0.04	0.13
土壤形成与保护	106.44	106.70	106.68	106.60	106.53	0.26	—0.02	—0.08	—0.06	0.09
废物处理	74.35	74.19	74.10	74.08	74.11	—0.16	—0.09	—0.02	0.03	—0.25
生物多样性保护	87.79	88.13	88.10	88.02	87.96	0.34	—0.03	—0.08	—0.06	0.17
食物生产	11.20	11.02	11.03	11.05	11.08	—0.18	0.02	0.01	0.03	—0.12
原材料	61.06	61.48	61.46	61.39	61.34	0.41	—0.02	—0.06	—0.06	0.27
娱乐文化	36.61	36.82	36.78	36.74	36.72	0.21	—0.04	—0.03	—0.03	0.11
合计	650.07	651.99	651.55	651.07	650.76	1.92	—0.43	—0.49	—0.31	0.69

3.3 生态系统服务价值的敏感性分析

根据式(4),同时将各类型土地的生态价值系数分别上下调整 50%,计算出石门县 2001—2013 年各种土地利用类型的敏感性指数(表 5)。由计算结果可知:各种情况下价值系数的敏感性指数都小于 1,这说明石门县 ESV 对于 VC 是缺乏弹性的,价值系数适用于石门县,分析结果是可信的。

3.4 土地利用及其生态系统服务价值预测

3.4.1 土地利用预测 利用灰色 GM(1,1)模型即式(5)、式(6),以 2001—2013 年石门县土地利用变更调查数据为基础,预测 2016—2025 年土地利用类型面积变化情况,并对 2016—2025 年生态系统服务价

值进行分析,预测模型见表 6。由表 6 可知,不同类型土地预测模型精确度均较高,其中耕地预测模型平均误差最小,仅为 0.05%,所有预测模型平均误差都小于 3%^[21],这表明预测模型可信度高。

表 5 生态系统服务价值敏感性指数变化

敏感性系数	2001 年	2004 年	2007 年	2010 年	2013 年
林地	0.7532	0.7557	0.7561	0.7560	0.7556
水域	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
耕地	0.0855	0.0833	0.0836	0.0838	0.0843
湿地	0.0116	0.0115	0.0110	0.0110	0.0110
园地	0.0321	0.0331	0.0329	0.0328	0.0327
草地	0.0164	0.0153	0.0153	0.0153	0.0151
未利用土地	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009

表 6 石门县不同类型土地的预测模型

土地类型	灰色预测模型	模型检验	平均误差值/%
耕地	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=17322779.29e^{0.0031t}-17267741.94$	优	0.05
园地	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-2740361.21e^{-0.0062t}+2756774.19$	优	0.53
林地	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-55945607.97e^{-0.0046t}+56202173.91$	优	1.15
草地	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-4405667.38e^{-0.0036t}+4422500.00$	优	0.20
湿地	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-105643.92e^{-0.0129t}+107015.50$	优	1.09
居民点及工矿用地	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=1729777.09e^{0.0087t}-1714712.64$	优	0.21
交通过地	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=304435.59e^{0.0118t}-300796.61$	优	0.97
水域	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-14770105.74e^{-0.0011t}+14786363.64$	优	0.25
未利用土地	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-79234168.98e^{-0.0002t}+79250000.00$	优	0.34

注:式中 e 为常量,其值为 2.718 28;t 为各类土地变动的预测时间,t=1,2,⋯,n,下同。

3.4.2 生态系统服务价值预测 从表 7 的预测结果可以看出:园地、林地、草地、湿地面积出现不同程度减少,变化率分别达到 -1.09%, -0.61%, -0.32%, -3.06%;耕地、居民点及工矿用地、交通过地、水域、未利用土地面积出现不同程度增加,变化率分别达到 1.71%, 3.43%, 4.40%, 0.44%, 0.71%。同时可知:石门县生态系统服务价值由 2016 年的 6.486 4×10⁹ 元下降到 2025 年的 6.464 1×10⁹ 元,降幅达 2.23%,与 2013 年相比,生态系统服务价值下降了 4.35×10⁷ 元,2013—2025 年石

门县生态系统服务价值年均下降 3.3×10⁶ 元。
从 2016—2025 年各种土地利用类型的生态系统服务价值变化可以看出:耕地、水域的生态系统服务价值出现上升,分别为 9.5×10⁶ 元和 2.9×10⁶ 元。林地的生态系统服务价值量下降最大,达到 3.00×10⁷ 元,占土地生态服务价值下降量的 86.10%;其次是园地和湿地,生态系统服务价值分别下降了 2.3×10⁶ 元和 2.2×10⁶ 元,占土地生态服务价值下降量的 6.67%和 6.28%;草地生态系统服务价值下降了 3.0×10⁵ 元,所占土地生态服务价值下降量的比例为 0.91%。

表 7 石门县不同类型土地面积及生态系统服务价值预测值

土地类型	土地利用分类面积预测值/hm ²				变化率/%	生态价值/10 ⁷ 元				价值变化/10 ⁷ 元
	2016 年	2019 年	2022 年	2025 年		2016 年	2019 年	2022 年	2025 年	
耕地	55238.08	55551.77	55866.37	56181.87	1.71	55.76	56.08	56.39	56.71	0.95
园地	16760.39	16699.54	16638.65	16577.72	-1.09	21.29	21.22	21.14	21.06	-0.23
林地	255702.56	255182.16	254658.85	254132.63	-0.61	488.00	487.01	486.01	485.00	-3.00
草地	15829.95	15813.54	15796.90	15780.03	-0.32	10.01	10.00	9.99	9.98	-0.03
湿地	1304.45	1291.03	1277.74	1264.56	-3.06	7.14	7.07	7.00	6.93	-0.22
居民点及工矿用地	15875.02	16054.82	16236.41	16419.80	3.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
交通过地	3842.75	3898.34	3954.67	4011.75	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
水域	16399.38	16423.38	16447.17	16470.73	0.44	65.85	65.94	66.04	66.13	0.29
未利用土地	16060.25	16098.24	16136.07	16173.74	0.71	0.59	0.59	0.59	0.59	0.00
合计	—	—	—	—	—	648.64	647.90	647.16	646.41	-2.23

3.4.3 生态系统单项服务价值预测 利用灰色 GM(1,1)模型即式(5)、式(6),预测 2016—2025 年生态系统单项服务价值。预测模型见表 8,预测结果见表 9。由表 9 可以看出,在 2016—2025 年,石门县生态

系统单项服务价值出现有增有减的趋势,其中气体调节、气候调节、土壤形成与保护、原材料价值出现下降趋势,而水源涵养、废物处理、生物多样性保护、食物生产、娱乐文化价值出现上升趋势。

表 8 石门县生态系统单项服务价值预测模型

生态系统服务功能	灰色预测模型	模型检验	平均误差值/%
气体调节	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-436080.7e^{-0.0002t}+436950$	优	0.120
气候调节	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-74515.73e^{-0.0001t}+74590$	优	0.023
水源涵养	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-372688.58e^{-0.0003t}+372800$	优	0.078
土壤形成与保护	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-152464.99e^{-0.0007t}+152571$	优	0.048
废物处理	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-741925.65e^{-0.0001t}+742000$	优	0.060
生物多样性保护	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-441112.21e^{-0.0002t}+441200$	优	0.150
食物生产	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=6113.798e^{0.0018t}-6103$	优	0.045
原材料	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=-87838.94e^{-0.0007t}+87900$	优	0.026
娱乐文化	$\hat{x}^{(1)}(t+1)=369476.61e^{0.0001t}-369440$	优	0.520

表 9 石门县生态系统单项服务功能价值预测值

生态系统 服务功能	生态系统单项服务价值/10 ⁷ 元					2013—2025 年 价值量变化/10 ⁷ 元
	2013 年	2016 年	2019 年	2022 年	2025 年	
气体调节	87.18	87.14	87.12	87.10	87.08	−0.10
气候调节	74.30	74.18	74.11	74.03	73.96	−0.34
水源涵养	111.55	111.66	111.62	111.59	111.56	0.01
土壤形成与保护	106.53	106.46	106.39	106.31	106.24	−0.29
废物处理	74.11	74.16	74.15	74.14	74.13	0.02
生物多样性保护	87.96	88.14	88.13	88.11	88.09	0.13
食物生产	11.08	11.09	11.11	11.13	11.15	0.07
原材料	61.34	61.29	61.25	61.20	61.17	−0.17
娱乐文化	36.72	36.96	36.96	36.97	36.97	0.25

4 结 论

(1) 石门县土地利用情况在 2001—2013 年发生了较大变化,生态系统服务价值呈先上升后持续下降的变化趋势:从 2001 年的 6.5007×10^9 元增加到 2004 年的 6.5199×10^9 元,之后持续下降到 2013 年的 6.5076×10^9 元。

(2) 利用灰色 GM(1,1)模型,对 2016—2025 年石门县生态系统服务总价值和生态系统单项服务价值进行预测。结果表明:2016—2025 年石门县 ESV 呈持续小幅下降趋势;至 2025 年,将下降到 6.4641×10^9 元;同时生态系统单项服务价值出现有增有减的趋势,其中气体调节、气候调节、土壤形成与保护、原材料等四项单项服务价值出现下降趋势,而水源涵养等其他五项单项服务价值出现上升趋势。呼吁石门县人民政府必须加强落实最严格的耕地保护、节约用地和水资源保护制度,合理开发利用自然资源,促进资源节约集约利用,真正落实国家级重点生态功能区的各项建设,走可持续发展的必由之路。

参考文献:

[1] Change C. IPCC Fourth Assessment Report[J]. The Physical Science Basis, 2007(2):580-595.

[2] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,386(6630):253-260.

[3] Daily G. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington, D. C., Island Press, 1997.

[4] Matson P A, Parton W J, Power A G, et al. Agricultural intensification and ecosystem properties[J]. Science, 1997, 277(5325):504-509.

[5] Sliva L, Williams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality [J]. Water research, 2001,35(14):3462-3472.

[6] Matthews R. The People and Landscape Model(PALM):Towards full integration of human decision-making and bio-physical simulation models[J]. Ecological Modelling, 2006,

194(4):329-343.

[7] Manson S M. Agent-based modeling and genetic programming for modeling land change in the Southern Yucatan Peninsular Region of Mexico[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005,3(1):47-62.

[8] 彭建,蔡运龙.喀斯特山区土地利用/覆被变化情景模拟[J]. 农业工程学报,2007,23(7):64-70.

[9] 伍星,沈珍瑶.长江上游地区土地利用/覆被和景观格局变化分析[J]. 农业工程学报,2007,23(10):86-92.

[10] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003,18(2):189-196.

[11] 谢高地,肖玉,甄霖,等.我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(3):10-13.

[12] 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.

[13] 何浩,潘耀忠,朱文泉,等.中国陆地生态系统服务价值测量[J]. 应用生态学报,2005,16(6):1122-1127.

[14] 郑江坤,余新晓,夏兵,等.基于生态服务价值的潮白河上游土地利用优化[J]. 农业工程学报,2010(12):337-344.

[15] 徐庭慎,李升峰.基于土地利用变化的江苏省生态服务价值新评估[J]. 土壤,2010,42(5):849-854.

[16] 李偲,韩桂红,海米提·依米提,等.土地利用变化对喀纳斯自然保护区生态系统服务价值的影响[J]. 地域研究与开发,2011,30(3):123-127.

[17] 汤洁,黄璐思,王博.吉林省辽河流域生态系统服务价值对 LUCC 的响应分析[J]. 环境科学学报,2015,35(8):2633-2640.

[18] 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.

[19] 郭荣中,杨敏华.长株潭地区生态系统服务价值分析及趋势预测[J]. 农业工程学报,2014,30(5):238-246.

[20] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展,1999,18(1) 81-87.

[21] 程建权.城市系统工程[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,1999.

[22] 湖南统计年鉴(2002—2014)[Z]. 北京:中国统计出版社,2002—2014.