

山东省土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响

尹登玉¹, 张全景^{1,2}, 翟腾腾¹

(1. 曲阜师范大学 地理与旅游学院, 山东 日照 276826; 2. 曲阜师范大学 土地研究中心, 山东 日照 276826)

摘要: [目的] 对山东省土地利用变化及其对生态系统服务价值产生的影响进行分析, 为区域环境保护和粮食安全提供保障。[方法] 运用 GIS 技术获取山东省 1995, 2005, 2015 年土地利用类型数据, 结合相关评价模型, 对研究区生态服务价值的时空动态演变及其特征进行剖析。[结果] ① 山东省土地利用类型主要以耕地为主, 1995—2015 年, 耕地、林地、草地以及未利用地面积减少, 建设用地和水域面积持续增加, 建设用地的扩张主要由耕地转变而来; ② 1995—2015 年, 研究区内生态系统服务总价值共减少 6.62×10^9 元, 变化率为 -2.07% 。20 a 间, 水文调节的生态服务价值增加迅速, 其他单项生态服务价值均呈现为减少的态势; 从空间上来看, 生态系统服务价值差异较大, 表现为鲁东、鲁南地区高, 鲁中和鲁西北地区低的空间分布格局, 生态增值区范围较小, 生态减值区广泛分布且面积增大。③ 山东省生态系统服务价值缺乏弹性, 所采用的生态价值系数是可靠的。[结论] 今后应着力优化土地利用结构和布局, 通过规划等措施综合调控土地利用变化, 从而促进山东省生态环境的稳定发展。

关键词: 土地利用变化; 生态服务价值; 时空演变; 山东省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)05-0134-10

中图分类号: P967

文献参数: 尹登玉, 张全景, 翟腾腾. 山东省土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 134-143. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2018. 05. 022. Yin Dengyu, Zhang Quanjing, Zhai Tengting. Land use change and its impact on ecosystem service value in Shandong Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 134-143.

Land Use Change and Its Impact on Ecosystem Service Value in Shandong Province

YIN Dengyu¹, ZHANG Quanjing^{1,2}, ZHAI Tengting¹

(1. College of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao, Shandong 276826, China; 2. Land Research Center, Qufu Normal University, Rizhao, Shandong 276826, China)

Abstract: [Objective] The land use change and its impact on the ecosystem service value in Shandong Province were analyzed to provide guarantee for the regional environmental protection and food security. [Methods] The data of land use types of Shandong Province in 1995, 2005 and 2015 was obtained by using the GIS technology. Then, combined with the relevant evaluation model, the spatial and temporal dynamic evaluation and characteristics of the ecological service values were analyzed in the research area. [Results] ① The land use type in Shandong Province were mainly the cultivated land. Areas of cultivated land, forest land, grassland and unused land were all reduced, while the construction land and water area continued to increase during the period from 1995 to 2015, and the construction land was mainly transformed from the cultivated land. ② From 1995 to 2015, the total value of the ecosystem service in the research area decreased by 6.62×10^9 Yuan, with a change rate of -2.07% . In those years, the ecological service value of hydrological regulation increased rapidly, while the value of other individual ecological service decreased. Spatially, the value of ecosystem services varied greatly, showing a high spatial distribution in Ludong and Lunan areas, while a low distribution in Luzhong and Luxi areas. The ecological benefited area was small, and the ecological impairment region was widely distributed with an increasing trend. ③ The value of ecosystem services in Shandong Province was inelastic, and the ecological value coefficient adopted was reliable. [Conclusion]

收稿日期: 2018-04-27

修回日期: 2018-05-28

资助项目: 山东省社会科学规划项目“山东省农地流转与新兴城镇化的耦合机制与创新路径研究”(18CSJJ31); 山东省软科学研究计划项目(2014RK01659)

第一作者: 尹登玉(1993—), 女(汉族), 山东省利津县人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用管理。E-mail: lxzydy@163.com。

通讯作者: 张全景(1966—), 男(汉族), 山东省东明县人, 博士, 教授, 主要从事土地利用规划与管理研究。E-mail: zhqj9988@aliyun.com。

Efforts should be made to optimize the land use structure and layout in the future, and land use change should be comprehensively controlled through planning and other measures, so as to promote the stable development of the ecological environment in Shandong Province.

Keywords: land use change; ecological service value; spatial-temporal evolution; Shandong Province

土地利用变化作为全球环境变化的重要内容,对土地资源的合理配置、生态环境的稳定发展、人类生产生活等都带来很大的影响^[1]。生态系统服务功能指的是生态系统用来维持人类生存与发展所需要的各种环境条件和效益^[2]。生态系统服务功能与土地利用实质上是相互制约和影响的矛盾统一体^[3],因此通过计算生态系统服务价值,将两者联系起来,对生态环境建设、区域可持续利用都具有重要的意义。

生态系统服务价值作为对区域生态服务功能强弱的评价标准,引起了国内外学者的广泛关注^[4]。国外学者最早开展了对生态系统服务价值的研究,主要集中在相关理论、生态服务价值计算方法等方面。Coatanza 等^[5]主要研究了生态系统服务价值的计算方法,系统分析了生态系统服务功能的变化;Carpenter 等^[6]研究认为土地利用方式的不同会改变生态系统的结构和过程,进而影响生态系统服务功能;Ronnback^[7]和 Bolund 等^[8]揭示了生态系统服务的概念,并对生态服务价值的估算方法进行了完善。自 20 世纪 80 年代末起,国内学者借鉴国外学者的相关研究成果,对生态系统服务价值展开了研究。谢高地等^[9]认为 Coatanza 在估算生态系统服务价值时有很多缺点,在参考相关有益成果之上,经过大量调查,测算出中国陆地生态系统服务价值系数;欧阳志云等^[10]主要对中国生态系统产生的生态经济价值进行了评估;李全等^[11]以遥感影像和梯度分析为基础,对生态系统服务价值的空间分布格局特征进行了系统分析;陈婧祎等^[12]分析了研究区生态系统服务价值与社会经济的时空变化特征,并结合空间自相关分析方法探讨两者的空间自相关关系。

综上所述,诸多学者选择从不同的研究视角,对区域生态系统服务价值的特征做出大量分析。但对于从省级尺度和考虑建设用地的生态服务价值角度进行研究的较少,对生态系统服务价值的时空格局演变特征也缺乏综合考虑^[13]。山东省是中国重要的沿海城市,经济发达,土地利用程度高,生态系统有多种类型,但由于人类活动的增加使得土地利用变化对生态环境产生很大影响,出现土壤侵蚀、土地退化、水土流失等生态环境恶化的现象,对生态系统服务功能带来负影响。因此,本文拟参考 Costanza 和谢高地等人的研究,利用 GIS 技术获取 1995,2005,2015 年土地利用类型数据,结合山东省实际生态系统服务价值

系数,分析区域土地利用变化下的生态系统服务价值时空演变特征,以期优化土地利用结构、提高生态效益、促进区域可持续发展提供参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

山东省地理位置位于北纬 $34^{\circ}22.9'$ — $38^{\circ}24.1'$,东经 $114^{\circ}47.5'$ — $122^{\circ}42.3'$,山东省土地总面积约为 $1.57 \times 10^7 \text{ km}^2$,占全国土地总面积的 1.63% 左右。其地势较为复杂,中部多为山地、东部为丘陵,西部和北部为平原。省内气候属于暖温带季风气候,降水多集中在夏季,春秋比较短暂,冬夏时间长。全省现辖济南、青岛、淄博、滨州等 17 个地级市,31 个县级市,49 个市辖区。山东省经济发达并且发展迅速,在全国经济建设和社会发展中具有十分重要的战略地位。截至 2015 年末,山东省常住人口达到 9.85×10^7 人,生产总值为 6.30×10^{12} 元,人均生产总值约 63 981.24 元。全省城镇化、工业化水平比较高,人类活动导致土地结构发生变化,势必会对生态系统空间分布格局影响重大。因此分析山东省土地利用结构变化及其带来的生态环境问题对于中国和区域生态安全、粮食安全等都具有重要意义。

1.2 数据来源

山东省 1995 年,2005 年,2015 年土地利用数据来源于中国科学院资源科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>),数据的生产主要以各期 Landsat TM/ETM 遥感影像为数据源,通过人工目视解译生成 1 km 的土地利用数据。首先用 reclassify 工具对土地利用类型进行重分类,对于提取的地类赋值为 1,其他地类赋值为 Nodata。按照不同的分区进行统计,统计出山东省 17 个地市的地类数据。综合考虑研究区状况,将土地利用类型进行统一分类,共有耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地等 6 类土地。社会经济数据来源于《山东省统计年鉴》和《中国统计年鉴》。

2 研究方法

2.1 土地利用动态度

为能更好的衡量区域土地利用类型的变化,本文引入单一土地利用动态度。单一土地利用动态度可以定量描述研究区一定时期内某种土地利用类型的

数量变化^[14],其值越低,表明土地系统内部越稳定,其表达式为:

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

式中: K ——某种地类在研究期内的动态度; U_a , U_b ——某种用地类型在研究初期和期末的数量; T ——研究时长,当 T 为具体某一年份时, K 为某种地类在该年的变化率。

2.2 土地利用程度综合指数

本研究主要是依照刘纪远提出的土地利用程度分类方法,将土地利用程度分为若干等级,并对等级指数进行赋值^[15],计算出土地利用程度综合指数,其公式如下:

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n (A_i \times C_i) \quad (L \in [100, 400]) \quad (2)$$

式中: L ——研究区内土地利用程度综合指数; A ——研究区域内土地利用类型的分级指数; C ——第 i 种地类面积所占总面积的比例(%) ; i ——研究区域内土地利用程度分级的个数。下同。

2.3 土地利用结构信息熵和均衡度

土地利用信息熵值的大小主要用来衡量土地利用结构的复杂程度和有序状况^[16],其中,信息熵的值越低,代表土地利用系统的有序度越高,反之,有序度则越低。

$$H = - \sum_{i=1}^m (p_i \ln p_i) \quad (3)$$

式中: p_i ——第 i 类土地利用类型的面积占土地总面

积的比例(%)。

为了能更好的反映研究区内土地利用的结构与规模变化的基本规律,本文在信息熵的基础上引入了均衡度这个概念,并建立区域土地利用结构的均衡度计算模型如下:

$$E = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i) / \ln m \quad (4)$$

式中: E ——土地利用结构的均衡度; m ——土地利用类型的数量, E 值的取值范围在 $0 \sim 1$ 之间。

2.4 土地利用生态服务价值估算方法

(1) 单位面积生态系统服务价值的计算。Costanza 等^[17]提出的生态服务价值评价方法存在很多缺点,并不适合一些地区某些生态系统服务价值的研究。因此,本研究参考谢高地等^[9]基于问卷调查的中国生态系统服务价值当量因子表,根据山东省实际情况对系数进行修正,以方便下一步对生态效应进行分析。修正过程如下:依据山东省统计年鉴可以计算出山东省 1995—2015 年粮食平均产量为 $5\ 655.86 \text{ kg/hm}^2$,根据山东省粮油交易中心粮食价格统计数据,估算出 2015 年山东省粮食收购价格为 2.72 元/kg ,生态系统提供的经济价值是在没有人力投入的情况下单位面积农田提供的粮食生产经济价值的 $1/7$ ^[18-20],计算出山东省一个标准当量因子所提供的农田粮食产量的经济价值约为 $2\ 197.71 \text{ 元/hm}^2$ 。表 1 为修正后计算得出的符合区域发展的生态系统服务价值系数。

表 1 山东省不同土地利用类型单位面积生态服务价值

元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)

单项服务功能	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
食物生产	2 197.71	725.24	945.02	1 164.79	0.00	43.95
原材料生产	857.11	6 549.18	791.18	769.20	0.00	87.91
气体调节	1 582.35	9 494.11	3 296.57	1 120.83	-6 678.00	131.86
气候调节	2 131.78	8 944.68	3 428.43	4 527.28	-2 174.10	285.70
水文调节	1 692.24	8 988.63	3 340.52	41 251.02	3 480.00	153.84
废物处理	3 054.82	3 780.06	2 900.98	32 635.99	0.00	571.40
保持土壤	3 230.63	8 834.79	4 922.87	901.06	0.00	373.61
维持生物多样性	2 241.66	9 911.67	4 109.72	7 538.15	0.00	879.08
提供美学景观	373.61	4 571.24	1 912.01	9 757.83	0.00	527.45
总计	17 361.91	61 799.61	25 647.28	99 666.15	-5 372.10	3 054.82

(2) 生态系统服务价值测算。本文主要按照以下对应方式确定山东省生态服务价值当量因子:耕地、林地和草地分别与农田、森林、草地相对应,水域对应河流和湖泊,未利用地与荒漠对应^[21]。同时,本文综合考虑了建设用地的生态系统服务价值,主要根据彭文甫等^[22]和段瑞娟等^[23]的研究成果,确定建设

用地的生态系统服务价值系数,生态服务价值表达式如下^[23-25]:

$$ESV_i = \sum_{i=1}^n P_i A_i \quad (5)$$

$$ESV_f = \sum_{i=1}^n (P_i \times A_{fi}) \quad (6)$$

式中: ESV_i ——研究区生态系统服务总价值〔元/

($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); ESV_f ——研究区单项生态系统服务总价值〔元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)〕; P_i ——用地类型的面积(hm^2); A_i ——单位面积生态系统服务价值; A_{fi} ——单位面积单项生态系统服务价值〔元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)〕; i ——研究区内土地利用数据的类型。

土地利用变化的结果对区域生态系统服务价值的影响存在很大差异,因此本文引入贡献率来量化影响程度,其计算公式为:

$$S_{KT} = \frac{|\Delta\text{ESV}_{KT}|}{\sum_{k=1}^n |\Delta\text{ESV}_{KT}|} \times 100\% \quad (7)$$

式中: S_{KT} ——第 K 种地类在 T 时间段内产生的 ESV 变化的绝对值占到所有土地利用类型产生的 ESV 变化的总绝对值的比例; ΔESV_{KT} ——某种土地利用类型在 T 时段内发生的变化引起的 ESV 变化量。

2.5 敏感性分析

生态系统服务功能评价是否准确,需要进一步验证。本文引入了敏感性指数(CS)来衡量生态服务价值系数的变化对生态系统服务价值的影响,敏感性指数计算公式如下^[26]:

$$\text{CS} = \left| \frac{(\text{ESV}_j - \text{ESV}_i) / \text{ESV}_i}{(\text{VC}_{jk} - \text{VC}_{ik}) / \text{VC}_{ik}} \right| \quad (8)$$

式中: VC ——生态价值系数; i, j ——调整前后的总价值; k ——土地利用类型。

若 $\text{CS} > 1$,表明生态价值评估的结果是富有弹性的,且 CS 的值越大,表明 VC 的准确性相对来说越重要,所修正的生态系统服务价值系数不可信;相反,若 $\text{CS} < 1$,则表明生态价值评估的结果被认为是缺乏弹性的,并且计算的生态服务价值是可靠的。本研究将生态价值系数分别增加(或减少)50%,对研究区生态系统服务价值的变化态势进行分析与研究。

3 结果与分析

3.1 土地利用格局变化分析

3.1.1 土地利用总体变化 山东省的土地利用分布情况如图1所示。1995—2015年,耕地是山东省面积比例最多的地类,建设用地和草地面积次之,所占比例最小的是未利用地。研究期间,土地利用变化表现为耕地、林地、草地和未利用地减少,水域和建设用地增加的状态,1995—2005年比2005—2015年各土地利用类型变化的更为剧烈。整个研究期间,建设用地面积逐年增加,1995年山东省建设用地面积占全省总面积的12.34%,2015年增加至总面积的14.70%,增加了 $3.644 \times 10^5 \text{ hm}^2$,从各种土地利用类型面积增加的状态来看,山东省建设用地面积的增加

是最快的,也是最多的。在1995—2015年,水域面积总体上也呈现增加的趋势,但增加的速率较慢,近20 a增加了 $2.91 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。总体来看,山东省的土地主要以耕地、建设用地和草地为主,这三者的面积之和约占总面积的88%以上,水域和未利用地相对较少。

对于山东省各地市而言,土地利用变化的趋势与研究区整体变化基本相似。其耕地、林地、草地明显减少,2005—2015年减少的面积明显大于1995—2005年减少的面积。建设用地面积增加明显,其中青岛、潍坊、烟台和滨州等地增加的面积较多,表明这些地市建设用地扩张比较明显。对于水域面积而言,除了东营、潍坊、淄博和威海这4个地市的水域面积减少,其他各个地市的水域面积都有所增加,其中滨州的水域面积增加的最多,菏泽和临沂次之。莱芜、日照和济宁的未利用地面积增加,其他各个地市的未利用到面积减少,其中东营和滨州的未利用地面积减少的最多。总体来看,建设用地的面积变化的最为明显,建设用地的快速扩张在一定程度上占用了其他土地类型的空间,主要由于社会经济的快速发展推动了城镇化的进程,城镇化水平的提高使得建设用地的面积迅速增加,进而影响了其他土地类型的变化。

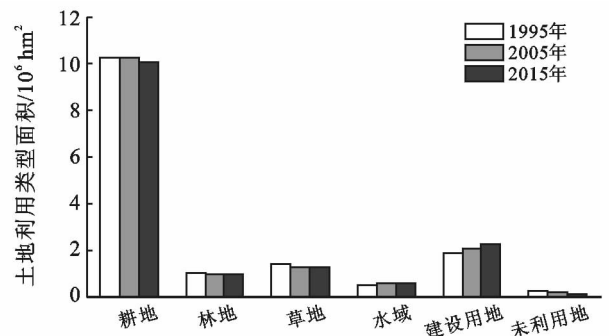


图1 1995—2015年山东省各土地利用类型面积

3.1.2 土地利用转移特征与动态度 如表2所示,1995—2015年山东省耕地增加了 $1.75 \times 10^6 \text{ hm}^2$,主要由建设用地和草地转换而来,而耕地面积的去向主要是转移为建设用地,研究期间建设占用耕地面积为 $1.20 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占有转移为建设用地总面积的87.79%,说明山东省通过大量占用耕地进行扩张。林地的增加主要由草地转移而来,1995—2015年有 $1.78 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 草地变为林地,减少的林地主要复垦为耕地。草地和水域主要由耕地转变而来,相应的减少的面积主要开垦为耕地。未利用地主要用于耕地的复垦以及建设用地的扩张。

表 2 1995—2015 年山东省各地区土地利用转移

hm²

项 目	1995 年面积							
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地		
地 域	耕地	8 342 400	174 400	341 900	178 300	1 196 200	45 700	
	林地	194 700	601 100	165 300	13 600	29 100	1 900	
	草地	400 900	177 600	711 100	29 400	66 400	10 100	
	水域	155 400	7 200	22 400	311 000	37 700	9 000	
	建设用地	911 200	12 000	41 700	25 200	896 100	10 300	
	未利用地	86 100	4 100	16 000	13 600	33 200	82 600	
鲁东地区	耕地	13 802	542	1130	275	1 876	23	
	林地	561	1 993	539	62	105	0	
	草地	1 335	589	2 403	69	284	6	
	水域	262	24	68	290	56	5	
	建设用地	1 236	44	139	37	1 614	0	
	未利用地	31	5	6	6	8	30	
2015 年 面积	鲁中地区	耕地	20 874	571	917	423	3 011	76
		林地	599	2 322	643	23	64	6
		草地	936	703	1 682	49	138	6
		水域	385	16	62	746	107	27
		建设用地	2 124	36	76	61	2 549	17
		未利用地	132	14	20	10	50	65
鲁南地区	耕地	27 844	528	1 211	646	4 062	52	
	林地	611	1 533	440	37	79	9	
	草地	1 178	502	2 591	67	154	30	
	水域	530	19	30	1 581	97	17	
	建设用地	3 216	33	166	77	2 472	16	
	未利用地	58	18	34	9	17	85	
鲁西北地区	耕地	20 739	49	157	428	3 048	306	
	林地	113	66	21	8	60	4	
	草地	611	23	430	113	103	59	
	水域	375	10	64	485	116	41	
	建设用地	2 524	5	36	76	2 325	70	
	未利用地	637	1	98	110	259	645	

为了更好的分析各地市土地利用转移特征,本文将山东省 17 地市划分为鲁东地区(青岛、烟台、威海)、鲁中地区(济南、莱芜、潍坊、淄博、泰安)、鲁南地区(济宁、菏泽、枣庄、临沂、日照)和鲁西北地区(德州、聊城、滨州、东营)。分区域来看,各个地区耕地减少的主要去向转变为建设用地。整个研究期间,鲁东、鲁中、鲁南和鲁西北地区分别有 1 876, 3 011, 4 062, 3 048 hm² 的耕地转变为建设用地,而分别只有 1 970, 1 987, 2 437, 940 hm² 的耕地转变为其他土地类型。耕地的主要来源主要是对建设用地和草地的开垦,这一现象与研究区整体变化相似,其中鲁中地区对于草地的开垦较多。

1995—2015 年鲁中地区水域面积呈现出减少的趋势,其他各个地区水域面积均有所扩张。各个地区的林地和未利用面积均减少,主要表现为林地转变为耕地和草地,未利用转变为耕地(表 2)。

在分析山东省 1995—2015 年土地利用分布数据的基础上,利用公式(1)可以得出在此期间山东省单一土地利用动态度如图 2 所示。

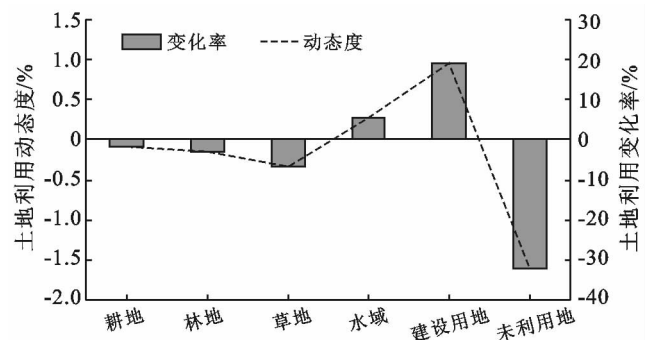


图 2 2005—2015 年各土地利用类型变化率及动态度

由图 2 可知,1995—2015 年,土地利用变化率与动态度变化状态一致。土地利用变化率表现为未利

用地的变化率最大,为-32.29%,建设用地的变化率次之,变化率为19.26%,耕地的变化率最小,仅为-1.74%,说明耕地的变化较为稳定。研究期内,各土地利用类型的单一土地利用动态度差异明显。其中,土地利用动态度为正值的包括水域和建设用地,表明其面积是增加的,而耕地、林地、草地和未利用地的动态度是负数,表现为这些土地利用类型的面积是减少的。土地利用类型面积增加较快的是建设用地,其动态度为0.96%,其次为水域用地,动态度为0.27%;土地利用类型面积减少最快的是未利用地,动态度为-1.61%,其次是草地,动态度为-0.34%。1995—2015年山东省土地利用程度综合指数较高,变化幅度不大,总体呈上升的趋势。同期,各个地市的土地利用程度综合指数也呈上升态势,与整个研究区变化情况差别不大。

3.1.3 土地利用结构变化 本研究在分析土地利用数据基础上,运用公式(3)和(4)分别计算出信息熵与均衡度(图3)。结果表明,从整体变化上看,1995—2015年,研究区内土地利用结构信息熵总体上呈上升的趋势,信息熵最大值为1.112,最小值为1.090,表明在近20a间,山东省土地利用系统内部处于不稳定的状态,整体来看有序度在降低。分时段来看,1995—2005年信息熵呈缓慢下降的态势,2005—2015年信息熵迅速增加,系统不稳定性增加。同时,研究期间均衡度与信息熵值变化规律大致相同,也呈现出上升的趋势,表明土地利用系统的均质性增强。总体上来看,近10a来山东省均衡度的最大值为0.6左右,表明土地利用结构处于不均衡的状态,系统稳定性下降。

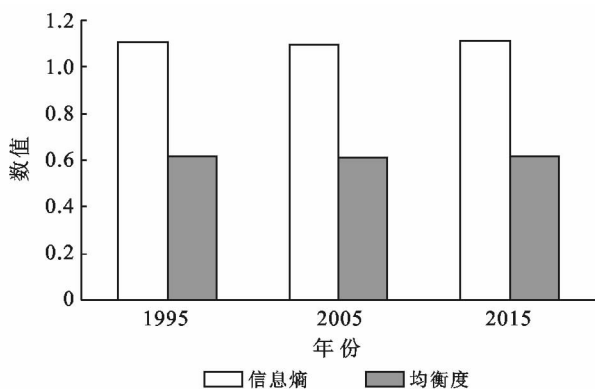


图3 1995—2015年山东省土地利用结构信息熵和均衡度

3.2 研究区生态系统服务价值的时空格局特征

3.2.1 生态系统服务总价值变化 由表3可知,1995—2015年,整个研究区的生态系统服务价值逐

渐减少,由1995年的 3.20×10^{11} 元减少到2015年的 3.14×10^{11} 元,整个研究期间减少了 6.62×10^9 元,变化率为-2.07%,表明山东省生态系统结构比较稳定。山东省生态服务价值主要来源于耕地、水域和林地,这三者的生态系统服务价值占全省的90%以上,虽然水域面积占总面积的比例较少,仅为3.6%左右,但其产生的生态系统服务价值较大,贡献率达到38%;其次是草地,其生态系统服务价值是逐渐减少的,主要由于其面积减少所致;所占比例最少的是未利用地,表明未利用地的变化对生态系统服务价值影响最小,建设用地的生态系统服务价值为负值,对山东省的生态环境带来负效应,建设用地面积的增加是山东省生态系统服务总价值减少的一个主要原因。

由表3还可以看出,在不同时间段内,研究区生态服务价值变化呈现出不同的变化状况,贡献率的变化也不同。1995—2005年,草地和林地的生态系统服务价值变化的较大,耕地的生态服务价值变化的最小;2005—2015年耕地和水域的生态服务价值变化的较大,而林地和未利用地的变化量较小,这与1995—2015年总体的变化趋势相同。就贡献率来看,1995—2005年,草地的贡献率最大,其次为林地和水域;2005—2015年,耕地的贡献率最大,其次为水域。总体来看,1995—2015年,耕地和水域的贡献率较大,其次是草地和林地,表明这些土地利用类型的变化对生态系统服务价值的变化带来的影响较大。

3.2.2 单项生态系统服务总价值变化 1995—2015年,水文调节生态服务价值表现出增长的状态,其他单项生态服务价值均表现出持续减少的态势(表4)。其中,气体调节的生态服务价值减少的最快,变化率为-17.86%,其次是气候调节,变化率为-4.84%,这两者的生态服务价值减少主要是由于价值系数较高的林地面积减少所致;原材料生产、维持生物多样性和保持土壤的生态服务价值减少的相对较慢,废物处理减少的最慢,其变化率仅为-0.04%。各单项生态系统服务价值中,水文调节、废物处理和保持土壤是山东省生态系统服务功能的主体,这三者之和占生态系统服务价值的55%以上,而原材料和娱乐文化的生态服务价值仅占生态系统服务总价值的6%左右,对总的生态效应影响较小。虽然山东省是农业大省,但食物生产服务价值并不高,这主要是由于食物生产服务价值系数与其他生态系统单项服务相比比较低,即使在耕地中,其价值系数也低于废物处理和保持土壤的生态服务价值系数。因此,研究区内虽然耕地所占比例较高,并且食物生产服务价值主要由耕地产生,但是食物生产所产生的单项生态系统服务总价值仍然较低。

表 3 山东省各土地利用类型生态系统服务总价值(ESV)变化及贡献率

生态价值及变化		耕地	林地	草地	水域	未利用地	建设用地	合计
1995 年	ESV	1 781.45	621.02	357.57	538.89	7.15	-101.62	3 204.48
2005 年	ESV	1 779.80	604.03	335.59	550.36	5.06	-112.14	3 162.70
2015 年	ESV	1 750.48	602.98	333.29	567.90	4.84	-121.19	3 138.29
1995—2005 年	变化量/ 10^8 元	-1.65	-16.99	-21.98	11.46	-2.10	-10.52	-41.78
	贡献率/%	2.55	26.27	33.97	17.71	3.24	16.26	100.00
2005—2015 年	变化量/ 10^8 元	-29.32	-1.05	-2.31	17.54	-0.21	-9.05	-24.41
	贡献率/%	49.29	1.77	3.88	29.49	0.36	15.22	100.00
1995—2015 年	变化量/ 10^8 元	-30.97	-18.05	-24.29	29.00	-2.31	-19.58	-66.19
	贡献率/%	24.94	14.53	19.56	23.35	1.86	15.76	100.00

表 4 山东省单项生态系统服务价值变化

生态系统服务	单项生态系统服务功能价值/元			生态系统服务价值变化/%		
	1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年	1995—2015 年
食物生产	252.36	251.25	247.64	-0.44	-1.44	-1.87
原材料生产	169.15	166.62	165.12	-1.50	-0.90	-2.38
气体调节	183.78	165.15	150.95	-10.14	-8.60	-17.86
气候调节	340.44	330.91	323.96	-2.80	-2.10	-4.84
水文调节	599.77	605.73	615.53	0.99	1.62	2.63
废物处理	569.68	569.22	569.44	-0.08	0.04	-0.04
保持土壤	494.65	487.54	481.62	-1.44	-1.21	-2.63
维持生物多样性	429.73	423.53	420.47	-1.44	-0.72	-2.15
提供美学景观	164.92	162.75	163.55	-1.32	0.49	-0.83

3.2.3 生态系统服务价值空间演变 根据山东省不同生态系统服务价值表(表 1)和提取的山东省各个地市的土地利用变化数据,运用公式,通过计算得到山东省各地市生态系统服务价值及其变化情况(表 5)。

表 5 山东省生态服务价值空间变化

 10^8 元/a

区域	生态服务价值			生态服务价值变化量		
	1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年	1995—2015 年
东营市	137.95	140.10	139.92	2.15	-0.18	1.97
滨州市	141.06	143.64	143.87	2.58	0.23	2.81
烟台市	337.77	330.59	328.13	-7.18	-2.46	-9.64
济南市	182.41	181.85	177.36	-0.56	-4.49	-5.05
德州市	160.72	158.61	156.93	-2.11	-1.68	-3.79
潍坊市	312.73	300.65	299.60	-12.08	-1.05	-13.13
聊城市	131.09	129.17	125.89	-1.92	-3.28	-5.20
莱芜市	58.76	58.53	58.03	-0.23	-0.50	-0.73
淄博市	153.45	149.10	147.12	-4.35	-1.98	-6.33
泰安市	175.39	170.33	170.05	-5.06	-0.28	-5.34
青岛市	215.78	207.20	206.52	-8.58	-0.68	-9.26
日照市	123.92	124.16	123.43	0.24	-0.73	-0.49
菏泽市	184.43	185.11	183.22	0.68	-1.89	-1.21
临沂市	382.29	382.73	382.43	0.44	-0.30	0.14
枣庄市	91.63	90.95	89.75	-0.68	-1.20	-1.88
威海市	125.96	123.89	122.28	-2.07	-1.61	-3.68
济宁市	289.12	286.09	283.76	-3.03	-2.33	-5.36

分地市来看,山东省 17 个地市中,临沂市的生态系统服务价值最高,1995,2005,2015 年分别为 3.82×10^{10} , 3.83×10^{10} 和 3.82×10^{10} 元,占生态系统服务总价值的 11.93%,12.10%和 12.19%;其次,烟台市和潍坊市的生态系统服务价值也较高,占生态系统服务总价值的比例都在 9.51%以上;威海、日照和枣庄市的生态系统服务价值比较低,占生态系统服务总价值的比例都在 4%以下;莱芜市的生态系统服务价值最低,仅占地区总价值的 1.83%左右。

研究期内,东营市、滨州市和临沂市的生态系统服务价值逐渐增加,其他各地市的生态系统服务价值均呈减少的趋势,且变化的幅度也有较大差异。滨州市的生态系统服务价值增加的相对较多,20 a 间增加了 2.81×10^8 元,变化率为 2.0%,主要原因在于水域的大量增加,其次是东营市,主要是由于耕地和林地面积增加所致,临沂市增加的较少,仅为 1.40×10^7 元,变化率为 0.04%,水域面积的增加以及林地面积的略微增加使得临沂市的生态服务价值增加;潍坊市、烟台市和青岛市的生态系统服务价值减少的较多,分别为 1.31×10^9 , 9.64×10^8 , 9.26×10^8 元,主要由于耕地和林地面积的大量减少导致的,莱芜市和日照市的生态系统服务价值分别减少了 7.30×10^7 , 4.90×10^7 元,对总价值来说影响不大。

经过上述分析得知,不同土地利用类型之间的转移导致生态系统服务价值发生变化,为了更好的对山

东省各地区生态系统服务价值空间分布格局演变进行分析,本文引入了生态系统服务价值图谱,图谱中定义为 3 种区域,分别为生态保值区、生态增值区、生态减值区(图 4)^[27]。将山东省 1995,2005,2015 年的土地利用数据进行重分类处理,然后分别将两期的栅格数据运用地图代数进行运算,得到这两个时期的土地利用类型转移图谱,再乘以转移后的土地利用类型所产生的生态服务价值差值,得到研究区内生态系统服务价值变化图谱。结合表 5 和图 4 分析可得,20 a 间山东省生态保值区分布最为广泛,而生态减值区表现出较为显著的空间分布格局,生态增值区主要集中在鲁北和鲁南地区,这一变化情况与土地利用类型的转移相适应。分时段来看,1995—2005 年生态增值区范围较大,主要集中在鲁西北和鲁南地区,生态减值区的范围较广,主要分布在鲁中、鲁东地区。2005—2015 年生态增值区的范围变小,生态减值区的范围扩大,特别是山东省东部沿海地区生态减值区表现的最为显著。山东省北部地区尤其在东营、滨州的河口地区和沿岸地带的生态服务价值增加较多,这主要由于其他土地利用类型转变为水域,导致水域面积增加所致,而这种变化在 1995—2005 年表现的最为强烈。山东省沿海地区、莱州湾地区生态服务价值减少的主要原因在于港口码头、居民点、盐田等建设用地的增加,建设用地对生态环境具有负影响,使得该地区生态效应降低。

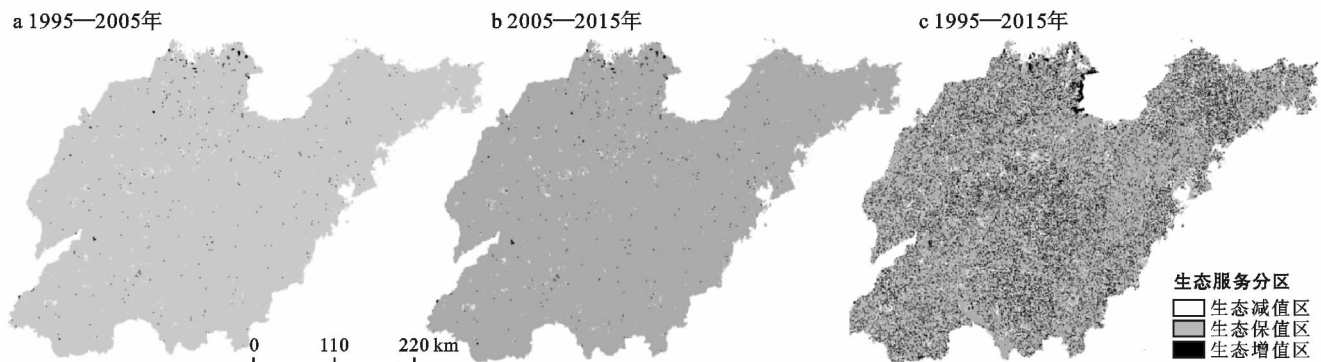


图 4 山东省不同时段生态系统服务价值变化

3.2.4 生态系统服务价值敏感性分析 利用敏感性指数的计算方法,将各类用地的生态价值系数在原来的基础上增加(或减少)50%,计算出山东省研究期间各土地利用类型的敏感性指数(图 5)。分析图 5 可知:价值系数在分别上下调整 50%的后,CS 的值都比 1 小,并且各年份之间变化不大;CS 的最小值为 0.002,即当未利用土地的 VC 增加 1%时,对应的 ESV 值增

加 0%~0.002%,对研究区的 ESV 影响很小;CS 的最大值为 0.563,即当耕地的 VC 增加 1%时,对应的 ESV 增加 0.563%,对研究区的 ESV 影响较大;同时,调整后的生态系统服务总价值变化率与调整前的变化率相差不大,相差 0.021%~1.356%。这些都说明研究区的 ESV 相对于 VC 是缺乏弹性的,即本研究区计算的生态系统服务价值系数是可靠的。

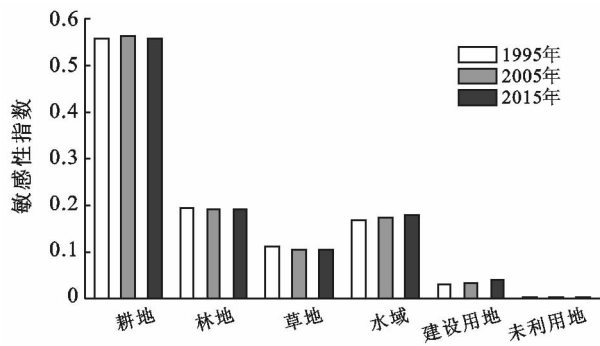


图 5 1995—2015 年山东省不同土地利用类型生态系统服务价值敏感性指数变化

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 1995—2015 年,研究区耕地、林地、草地和未利用地面积减少,建设用地和水域面积逐渐增加。耕地的减少主要用于建设用地的扩张,小部分转变为水域,另外草地和未利用地也变为建设用地,多种来源使得建设用地在大范围内迅速扩张。各种土地利用类型之间的转移,在一定程度上造成了土地利用结构有序度降低、均衡度变差,土地利用系统不稳定。

(2) 1995—2015 年山东省土地利用的生态系统服务价值呈减少的状态。从单项生态系统服务价值来看,水文调节的生态服务价值逐渐增加,其它各单项生态系统服务价值均减少,水文调节、废物处理和保持土壤是山东省生态系统服务功能的主要构成;从空间上来看,1995—2015 年山东省生态系统服务价值空间差异比较明显,呈现出鲁东、鲁南地区高,鲁中和鲁西北地区低的空间分布规律。生态增值区主要集中在鲁北沿岸地带和河口地区以及鲁中南低山丘陵地区,而生态减值区分布范围较广,在山东省各个地区均有分布且面积逐渐扩张,这与土地利用结构有序度降低、均衡度变差、土地系统不稳定密切相关。2005—2015 年生态减值区的范围比 1995—2005 年更广泛,土地利用变化带来的生态系统服务价值逐渐减少,所以山东省的生态效应问题值得关注。

(3) 山东省各土地利用类型的生态服务价值敏感性指数的值都小于 1,并且每年的变化幅度较小,总体上比较稳定。这些都表明,研究区的生态系统服务价值相对于价值系数来说是缺乏弹性的,即估算的生态服务价值系数对于研究区来说是合理的,与当地实际情况相符。

综上分析,土地利用类型面积发生变化,其产生的生态服务价值与地类面积变化趋势一致。虽然水

域面积是增加的,但仍然不能弥补耕地、林地和草地等面积减少所带来的生态系统服务价值的减损。耕地作为山东省的主体,近 20 a 来呈现出减少的态势,减少耕地大部分转化为建设用地,使得食物生产等生态服务价值减少,因此需要加强对耕地的保护。同时也要保护好湿地滩涂、水域和林地等地类,因为两者在区域生态系统服务价值中同样占有较大的比重。

4.2 讨论

生态系统服务评价存在很多影响因素,如若采用的评价方法不同,会使得生态系统服务价值的绝对量相差很大,但是不影响其时空变化规律。本文在 Costanza 和谢高地等人的研究基础之上,基于 1995, 2005, 2015 年 3 期土地利用遥感监测数据,采用一种广泛适用的生态服务价值评价方法,对研究区土地利用变化以及产生的生态效应进行了系统分析。本方法虽然在一定程度上能揭示区域生态系统服务价值的时空分布格局演变特征,但依旧存在一些不足之处,需要进一步研究和探讨。

(1) 生态系统内部结构比较复杂,生态系统服务价值受多种因素的影响。本文虽然对生态系统服务功能评价的方法进行了完善,得出的结果具有一定的参考价值。但本研究只是从土地利用变化的角度,分析了研究区生态服务价值的时空演变规律,缺乏对其他影响因素的综合考虑。

(2) 本文通过参考相关文献对建设用地的生态系统服务功能进行了赋值,得出建设用地的面积迅速增加,是研究区生态系统服务总价值减少的一个重要原因;但由于建设用地的生态服务功能比较复杂,数据获取也有限,对于其影响的范围和程度也难以界定。对于这些,本文没有作深入的分析,存在不足之处,需要今后做进一步的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 王宗明,张树清,张柏. 土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(1): 126-129.
- [2] 乔燕强. 兰州市城市化与生态系统服务价值的耦合关系定量研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 333-337, 344.
- [3] 王宽,蔡正华,齐增湘,等. 2000—2013 年衡阳市土地利用格局转变对生态系统服务的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(7): 1060-1070.
- [4] 吕国屏,廖承锐,徐雁南,等. 基于 CA-Markov 模型的喀斯特地区县域生态系统服务价值动态模拟[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2017, 41(5): 49-56.
- [5] Costanza R, d'Arge R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature,

- 1998,387(15):253-260.
- [6] Carpenter S R, Mooney H A, Agard J, et al. Science for managing ecosystem services: Beyond the millennium ecosystem assessment[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009,106(5):1305-1312.
- [7] Ronnback P. The ecological basis for economic value of seafood production supported by mangrove ecosystems[J]. Ecological Economics, 1999,29(2):235-252.
- [8] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas[J]. Ecological Economics, 1999,29(2):293-301.
- [9] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.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.
- [10] 欧阳志云,王如松,赵景柱.生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J].应用生态学报,1999,10(5):635-640.
- [11] 李全,李腾,杨明正,等.基于梯度分析的武汉市生态系统服务价值时空分异特征[J].生态学报,2017,37(6):2118-2125.
- [12] 陈婧祎,罗红霞,胡林利,等.生态系统服务价值与社会经济相关性研究:以重庆市大都市区为例[J].水土保持研究,2017,24(4):330-336.
- [13] 张艳军,官冬杰,翟俊,等.重庆市生态系统服务功能价值时空变化研究[J].环境科学学报,2017,37(3):1169-1177.
- [14] 程建,程久苗,吴九兴,等.2000—2010年长江流域土地利用变化与生态系统服务功能变化[J].长江流域资源与环境,2017,26(6):894-901.
- [15] 刘纪远.国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J].遥感学报,1997,1(3):225-230.
- [16] 周子英,段建南,梁春风.长沙市土地利用结构信息熵时空变化研究[J].经济地理,2012,32(4):124-129.
- [17] 蒋晶,田光进.1988—2005年北京生态服务价值对土地利用变化的响应[J].资源科学,2010,32(7):1407-1416.
- [18] 朱晓磊,张建军,程明芳,等.基于Meta分析的矿业城市生态服务价值转移研究[J].自然资源学报,2017,32(3):434-448.
- [19] 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.
- [20] 魏慧,赵文武,张骁,等.基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价:以山东省德州市为例[J].生态学报,2017,37(11):3830-3839.
- [21] 杨越,哈斯,社会石,等.基于RS和GIS的宁夏盐池县土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2014,21(5):100-105.
- [22] 彭文甫,周介铭,杨存建,等.基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究[J].长江流域资源与环境,2014,23(7):1053-1062.
- [23] 段瑞娟,郝晋珉,王静.土地利用结构与生态系统服务功能价值变化研究:以山西省大同市为例[J].生态经济,2005(3):60-62,64.
- [24] 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.
- [25] 汤洁,李红薇,李昭阳,等.土地利用变化对太平池湿地区域生态系统服务价值的影响[J].中北大学学报:自然科学版,2017,38(1):78-86,98.
- [26] 李正,王军,白中科,等.贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测[J].地理科学进展,2012,31(5):577-583.
- [27] 史洋洋,吕晓,黄贤金,等.江苏沿海地区耕地利用转型及其生态系统服务价值变化响应[J].自然资源学报,2017,32(6):961-976.