

基于RS与GIS的沙坡头区生态系统服务价值研究

王鹏¹, 王亚娟¹, 刘小鹏^{1,2}, 陈晓¹, 孔福星¹

(1. 宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021; 2. 宁夏(中阿)旱区资源评价与环境调控重点实验室, 银川 750021)

摘要:以宁夏自治区沙坡头区为例,以2000年、2007年、2013年3期TM影像为数据源,综合运用土地利用动态度、GIS空间分析法以及中国陆地生态系统服务价值估算算法对沙坡头区土地利用变化状况及其生态系统服务价值变化进行了分析研究。结果表明:2000—2013年沙坡头区土地利用变化显著,耕地和未利用地面积分别减少了39 951.90, 241 289.24 hm²,而其他土地利用类型面积逐年增加,其中草地面积增幅最大,年变化率高达10.58%;研究期间沙坡头区生态系统服务价值呈增加趋势,草地和林地面积的增加起到了主导作用;从沙坡头区生态系统服务价值构成来看,草地和林地两者的生态系统服务价值占比在67%~87%,是生态系统服务价值的主要构成部分;各单项生态功能服务价值中土壤形成与保护、废物处理和生物多样性保护占研究区生态系统服务价值的比重最大,三者之和占生态系统服务总价值的55%以上;各土地利用类型生态系统服务价值敏感性指数均小于1,说明沙坡头区生态系统服务价值对生态服务功能价值系数缺乏弹性,研究结果可信。

关键词:生态系统服务价值;土地利用变化;敏感性指数;沙坡头区

中图分类号:X171; F062.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)04-0250-07

Study on Ecosystem Service Value in the Shapotou District Based on RS and GIS

WANG Peng¹, WANG Yajuan¹, LIU Xiaopeng^{1,2}, CHEN Xiao¹, KONG Fuxing¹

(1. School of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Key Laboratory (China-Arab) of Resource Evaluation and Environmental Regulation of Arid Region in Ningxia, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The Shapotou District of the Ningxia Autonomous Region was selected an example, and remote sensing images in 2000, 2007 and 2013 were selected as data sources, land use dynamic degree, GIS spatial analysis method and the Chinese land ecosystem service value estimation method were used to study the change of land use and the change of ecosystem service value. The results showed that the land use change was significant in Shapotou District from 2000 to 2013, and the areas of cultivated land and unused land decreased by 39 951.90 hm² and 241 289.24 hm², respectively; the area of other land use types increased year by year, and the area of grassland increased by 10.58%; during the study period, the value of ecosystem services in Shapotou District increased, and the increase of grassland and forest land area played the leading role. From the perspective of the ecosystem service value of Shapotou District, the ecosystem services of grassland and woodland were the main components of the value of ecosystem services. The proportion of soil formation and protection, waste treatment and biodiversity conservation in the value of individual ecological function services accounted for the most value of ecosystem services in the study area, and the sum of the three accounted more than 55% of the total value of the ecosystem services. The sensitivity index of the ecosystem service value of each land use type was less than 1, which indicates that the ecosystem service value of Shapotou District is not flexible to the value index of ecological service function, and the results are credible.

Keywords: ecosystem service value; land use change; sensitivity index; Shapotou District

生态系统是自然界在一定的地域时空范围内,生物和环境相互作用、相互影响而形成的统一整体,是

人类生存和发展的重要基石,同时也是无法替代的自然资源和自然资产^[1-2]。而生态系统服务是通过生态

系统结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品(如食物、原材料)和服务(如废弃物同化),具有巨大的间接和直接的经济价值,是生态资产的重要组成部分,也是人类赖以生存的物质基础和环境条件^[3-4]。但近300年来,人类在财富利益的驱使下,世界各国把工业化为主流的经济发展模式作为社会经济发展的主要发展道路,并加速推进工业化进程,不断征服和改造自然。加之全球范围内人口数量的极速增长,城市化水平的不断提高,使得生态系统不断受到侵占和破坏,生态系统多样性锐减,其服务功能逐步下降,人与自然的矛盾恶化,全球性和区域性的生态危机不断加剧。在这一背景下,如何保护生态系统及其多样性、提高生态系统服务供给功能以及对生态系统服务价值进行合理评价成为生态学、经济学以及地理学等相关学科研究的热点话题。

土地利用是人与自然联系最为密切的环节^[5]。土地利用变化及其空间分布格局对生态系统的结构和功能产生巨大影响,直接导致生态系统服务价值的变化。而生态系统服务功能的下降和丧失影响着土地利用的结构和效率,严重影响人类安全和健康,直接威胁着区域乃至全球的生态安全^[6],扩大其生态风险程度。因此,研究土地利用变化对生态系统服务价值的影响,有利于优化区域土地利用结构、降低区域生态风险、促进区域生态—经济—社会系统的全面协调可持续发展。

生态系统服务价值评价是量化和分析生态系统服务功能强弱,是制定区域生态补偿政策的第一步^[7]。目前,国内外众多学者对区域生态系统服务价值进行分析研究,进一步丰富和发展了生态系统服务价值的理论和方法。自Costanza等^[8]提出生态系统服务价值的估算原理和方法,并对全球生态系统服务价值进行估算后,Rönnbäck^[9]、Bolund等^[10]利用生态系统服务价值理论和方法对农业和城市的生态系统服务价值进行了评价;Polasky^[11]、Kozak^[12]等则基于土地利用变化对区域生态系统服务价值响应进行了实证分析。我国学者谢高地等^[13]在参照Costanza等^[8]提出生态系统服务价值的估算原理和方法的基础上,结合我国实际情况,提出了“中国生态系统服务单位面积生态服务价值当量”表,为我国开展生态系统服务价值核算、评价提供了重要的理论基础和技术手段。陈阳^[14]、刘桂林^[15]、涂小松^[16]、魏慧^[17]、李全^[18]等基于土地利用变化状况分别对三江平原北部、长三角地区、鄱阳湖地区、山东省德州市、武汉市的生态系统服务价值进行估算。但大多研究主要集中在东中部发达地区和平原地区^[19-20],对于西部干旱

地区的研究较少。本文以宁夏沙坡头区为例,以2000年、2007年、2013年遥感数据为基础,对沙坡头区生态系统服务价值进行估算评价,以期为研究区土地利用总体规划、土地利用结构优化调整以及区域生态安全及其可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

沙坡头区隶属于宁夏回族自治区中卫市,位于宁夏回族自治区中西部,位于北纬 $36^{\circ}58'$ — $37^{\circ}42'$,东经 $104^{\circ}17'$ — $105^{\circ}34'$,东邻中宁县,南邻同心县、海原县,西面与甘肃省景泰县相接,北部与内蒙古自治区阿拉善左旗相邻。沙坡头区东西长115.3 km,南北宽81.4 km,区域总面积为5 922.4 km²,总人口约40万人。其地形由西向东、由南向北倾斜,分为沙漠、黄河冲积平原、台地、山地和盆地五大地貌单元,平均海拔在2 000 m左右。沙坡头区深居内陆,远离海洋,靠近沙漠,属半干旱气候,具有典型的大陆性季风气候的特点。年平均气温在8.5℃左右,年均降水量186.2 mm,年蒸发量为1 829.6 mm,降水量主要集中在6—8月,占全年降水量的60%,全年无霜期平均167 d,全年日照时数2 870 h。2015年全区GDP为146.2亿元,其中第一、二、三产业占GDP的比重分别为15.9%、38.3%和45.8%,人均GDP约为36 394元。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究所使用的2000年、2007年、2013年3期遥感数据是在美国<http://glovis.usgs.gov/>网站下载获得的landsat-5 TM影像,无云层覆盖,影像质量良好。将获取的影像在ENVI 5.0软件支持下进行图像配准、几何矫正等图像预处理,然后利用5,4,3波段合成沙坡头区图像,依据研究区行政边界范围对经过处理的遥感影像进行裁剪,提取研究区影像数据。依据全国土地资源分类系统,再结合研究区的土地利用现状特点,按照区差异性、归纳共同性的方法^[21-22],将研究区分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6类土地利用类型。然后进行监督分类,而后对监督分类结果进行后期处理。最后经过处理得到研究区三期土地利用数据。结合实地调查采样点数据,对分类结果进行精度检验后发现总精确度和Kappa指数等均接近或大于0.82,达到研究所要求。

2.2 土地利用变化动态度

区域土地利用的变化速度可用土地利用动态度来描述,对比较土地利用的区域差异和预测未来土地利用变化趋势具有重要作用^[23-24]。单一土地利用动

态度(K)表示研究区在一定时间范围内某种土地利用类型的变化状况,其计算公式为:

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

式中: K 为研究区研究时段内某一种土地利用类型变化动态度; U_a 和 U_b 分别为研究区研究初期和研究末期某一种土地利用类型的面积; T 为研究区某种土地利用类型变化年份。

2.3 生态系统服务价值评价方法

2.3.1 生态系统服务价值系数修正 Costanza 等^[8]

在 1997 年对全球的生态系统服务价值进行了评估,并在《自然》杂志上发表了“全球生态系统服务价值和自然资本”一文,使生态系统服务价值估算的原理和方法得到了科学的明确。谢高地等^[13]在 Costanza 等提出的评价模型基础上,对我国 200 位生态学者进行了生态问卷调查,根据中国的实际情况,结合问卷调查结果将生态系统服务划分为 9 项,建立了中国陆地生态系统服务价值当量因子表,并确定了 1 个生态系统服务价值当量因子的经济价值量等于当年全国平均粮食单产市场价值的 1/7。本文根据沙坡头区的实际情况,参考谢高地等的研究成果,利用公式(2)计算研究区单位面积农田系统提供的食物生产服务的经济价值,进而对研究区不同生态系统服务功能价值系数进行修正,得到适合研究区的生态系统服务价值系数表(表 1)。

$$E = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: E 为单位面积农田生态系统提供的食物生产服务的经济价值(元/hm²); i 农作物种类; m_i 为第 i 中粮食作物的面积; p_i 为第 i 种作物的全国平均价格(元/t); q_i 为第 i 种粮食作物单产(t/hm²); M 为粮食作物总面积;1/7为在没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值是现有单位面积农田提供的粮食生产服务价值的 1/7。

表 1 沙坡头区土地利用类型生态服务功能价值系数

生态服务功能	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
气体调节	145.36	1017.50	232.57	0.00	0.00	0.00
气候调节	258.74	784.93	261.64	133.73	0.00	0.00
水源涵养	174.43	930.29	232.57	5924.78	0.00	8.72
土壤形成与保护	337.23	1133.79	566.90	2.91	0.00	5.81
废物处理	476.77	380.84	380.84	5285.21	0.00	2.91
生物多样性保护	206.41	947.73	316.88	723.88	0.00	98.84
食物生产	290.72	29.07	87.21	29.07	0.00	2.91
原材料	29.07	755.86	14.54	2.91	0.00	0.00
娱乐文化	2.91	372.12	11.63	1261.71	0.00	2.91

2.3.2 生态系统服务价值计算 利用 Costanza 等提出的生态系统服务价值分析模型计算沙坡头区的生态系统服务价值和生态系统单项服务价值,其计算公式为:

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

$$ESV_f = \sum (A_k \times VC_{fk}) \quad (4)$$

式中:ESV 表示表示生态系统服务价值(元); A_k 表示表示研究区 k 种土地利用类型的面积(hm²); VC_k 表示表示生态服务功能价值系数[元/(hm²·a)]; ESV_f 表示表示第 f 种类型生态系统服务功能的总价值(元); VC_{fk} 表示表示第 f 种类型的第 k 种生态系统服务功能的价值[元/(hm²·a)]。

2.4 生态系统敏感性指数计算

为验证研究区生态系统类型对土地利用变化的代表性及生态价值系数的准确性,确定生态系统服务价值(ESV)随时间的变化对于生态系统服务价值指数(VC)的依赖程度^[25-26],在参考相关文献,选取经济学中的弹性系数概念来计算价值系数的敏感性指数(CS)。敏感性指数是指生态服务功能价值系数变动 1%引起生态系统服务价值的变化情况,若 $CS > 1$,说明 ESV 相对于 VC 是富于弹性的;若 < 1 ,则说明不具有弹性,比值越大,说明生态服务功能价值系数的准确性就越大。其计算公式为:

$$CS = \frac{\frac{(ESV_j - ESV_i)}{ESV_i}}{\frac{(VC_{jk} - VC_{ik})}{VC_{ik}}} \quad (5)$$

式中:CS 为生态服务价值敏感性指数;ESV_{*i*}和 ESV_{*j*}分别为调整前后的生态系统服务价值;VC_{*i*}和 VC_{*j*}分别为调整前后的生态价值系数。

3 结果与分析

3.1 土地利用动态变化分析

通过分析沙坡头区 3 期土地利用数据(表 2)可以看出,研究期间,沙坡头区草地和未利用地面积最大,分布广泛,占总面积的 80% 以上;水域面积最小,仅为全区面积的 1% 左右;耕地与建设用地主要分布在中部地区;林地则呈零散状分布。

2000—2013 年沙坡头区土地利用类型发生明显变化。耕地面积明显减少,2000—2007 年减少了 23 841.29 hm²,2007—2013 年减少了 16 110.61 hm²,研究期间耕地面积共减少了 39 951.90 hm²,前一阶段主要是由于农业科技水平的提高和农村外出务工人口的增加,降低了对耕地的需求,同时国家实施退耕还林(草)政策,且效果显著。后一阶段主要是

沙坡头区旅游产业的大力发展和生态保护措施的实施,使得耕地、未利用地面积减少,其他土地利用类型面积不断增加。林地面积在研究期间呈现出逐年增加的变化趋势,年变化率为2.15%,尤其是在2007—2013年增加速度最快,年变化率达到2.77%,这主要也得益于当地政府生态保护政策的实施。草地面积在研究区分布最为广泛,且增加速度也最快,年变化率达到10.58%,在13a间共增加了241674.95hm²,但由于草地是沙坡头区的景观基质,因此草地面积变化较大,除此之外,沙坡头区大力发展旅游产业,开垦了大量的未利用地,并进行绿化建设,促使草地面积急剧增加。水域面积呈现出先减后增的波动变化趋势,虽然沙坡头区水域面积较小,但由于其位于宁夏北部沿黄灌区,卫宁水利工程、青铜峡水利工

程等水利灌溉工程的建立,使得沙坡头区的水域面积不断扩大。建设用地面积由2000年的28321.4hm²增加至2013年的60357.64hm²,在13a间共增加了32036.24hm²,主要是沙坡头区不断加快城镇化建设的原因。未利用地面积在2000—2013年不断减少,且在2007—2013年下降速度最快,减少173734.49hm²,年变化率达12.06%。这主要沙坡头区大力发展旅游业带来的影响,同时沙坡头历届政府能够始终立足于实际,把防沙治沙、做好沙区治理工程作为改善生态环境的重点工作,不仅巩固了沙区防沙治沙工程的建设,还促进了当地沙产业的发展。沙坡头北部地区形成的林纸一体化的产业经营模式及其建立的以生产纸浆原料林为主的速生林基地等林地建设项目的形成改变了沙坡头区土地利用的布局。

表2 沙坡头区土地利用面积变化

年份	项目	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000	面积/hm ²	57146.46	18630.94	175669.52	4905.54	28321.4	307571.2
	比例/%	9.65	3.15	29.66	0.83	4.78	51.93
2007	面积/hm ²	33305.17	20432.66	253291.89	4794.8	40406.97	240016.45
	比例/%	5.62	3.45	42.77	0.81	6.82	40.53
2013	面积/hm ²	17194.56	23829.02	417344.47	7231.39	60357.64	66281.96
	比例/%	2.9	4.02	70.47	1.22	10.2	11.19
2000—2007	变化面积/hm ²	-23841.29	1801.72	77622.37	-110.74	12085.57	-67554.75
	年变化率/%	-5.96	1.38	6.31	-0.32	6.10	-3.14
2007—2013	变化面积/hm ²	-16110.61	3396.36	164052.58	2436.59	19950.67	-173734.49
	年变化率/%	-8.06	2.77	10.79	8.47	8.23	-12.06
2000—2013	变化面积/hm ²	-39951.90	5198.08	241674.95	2325.85	32036.24	-241289.24
	年变化率/%	-5.38	2.15	10.58	3.65	8.70	-6.03

3.2 生态系统服务价值变化分析

通过利用上述公式(3)计算得到各不同土地利用类型在不同时期的生态系统服务价值表(表3),由此可以看出,2000—2013年沙坡头区生态系统服务价值总体上呈不断上升趋势,特别是2007年后增加幅度开始变快,年变化率达1.9044%。研究期间沙坡头区生态系统服务价值由2000年的7.0102亿元增加到2007年的8.2031亿元而后剧增至2013年的11.6756亿元,净增加4.6654亿元,年变化率为4.9624%,变化较为显著。研究期间土地利用类型的变化对沙坡头区生态系统服务总价值具有较大影响,按价值大小排序依次为草地>林地>水域>耕地>未利用地>建设用地,其中草地和林地对研究区生态系统服务总价值产生的影响最为显著。而各类土地利用类型的生态系统服务价值变化存在明显的差异,草地的生态系统服务价值增加显著,由2000年的3.6975亿元增加至2013年的8.7842亿元,净增加

5.0867亿元,年变化率高达10.58%;林地的生态系统服务价值虽有增加,但幅度不大,2000—2013年净增0.3302亿元;水域的生态系统服务价值先减少后增加,变化幅度较小;耕地与未利用地的生态系统服务价值整体呈现出下降的变化趋势。研究期间,沙坡头区耕地和未利用地面积不断下降,草地、林地、水域以及建设用地面积逐年增加,由于建设用地不会增加生态系统服务价值,因此草地、林地以及水域面积的增加是沙坡头区生态系统服务价值不断增加的主要原因。

从生态系统服务价值的构成及贡献率来看,草地在研究区生态系统服务总价值中占据主导地位,其贡献率为52.74%~75.24%;其次是林地和耕地,二者的贡献率分别为12.96%~16.88%和2.83%~15.66%;水域面积最小,但其贡献率却接近10%;而未利用地的生态系统服务价值平均贡献率仅有3.2%。沙坡头区草地和林地生态系统服务价值不断增加,生态服务功能逐步增强,推动沙坡头区生态系统服务价值格局的良性转变。

表 3 2000—2013 年沙坡头区生态系统服务价值

年份	项目	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	合计
2000	ESV/亿元	1.0981	1.1835	3.6975	0.6556	0.00	0.3755	7.0102
	比例/%	15.66	16.88	52.74	9.35	0.00	5.36	100
2007	ESV/亿元	0.6401	1.2979	5.3312	0.6408	0.00	0.2931	8.2031
	比例/%	7.80	15.82	64.99	7.81	0.00	3.57	100
2013	ESV/亿元	0.3304	1.5137	8.7842	0.9664	0.00	0.0809	11.6756
	比例/%	2.83	12.96	75.24	8.28	0.00	0.69	100
2000—2007	ESV 变化量/亿元	-0.458	0.1144	1.6337	-0.0148	0.00	-0.0824	1.1929
	年变化率/%	-5.96	1.38	6.31	-0.32	0.00	-3.13	-1.7228
2007—2013	ESV 变化量/亿元	-0.3097	0.2158	3.453	0.3256	0.00	-0.2122	3.4725
	年变化率/%	-8.06	2.77	10.79	8.47	0.00	-12.07	1.9044
2000—2013	ESV 变化量/亿元	-0.7677	0.3302	5.0867	0.3108	0.00	-0.2946	4.6654
	年变化率/%	-5.38	2.15	10.58	3.65	0.00	-6.04	4.9624

3.3 沙坡头区各单项生态服务功能价值变化分析

通过计算得到 2000 年、2007 年以及 2013 年各单项生态服务功能价值(表 4),分析不同时期各单项生态系统服务功能及其所占生态系统服务功能总价值的比重可知,气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理以及生物多样性保护的生态服务功能价值占生态系统服务功能总价值的 90.29%~92.27%,而食物生产、原材料和娱乐文化的生态服务功能价值仅占生态系统服务功能总价值的 7.73%~9.71%。2000—2007 年生态系统服务价值增加了 1.193 亿元,从各单项生态服务功能价值来看,除气体调节、气候调节以及土壤形成与保护 3 项的生态系统服务价值占生态系统服务功能总价值的比重有所上升外,其余各项的生态服务功能价值的比重都呈现

出下降的变化趋势,其中,下降最明显的是食物生产,主要是由于耕地面积减少,且其生态服务价值系数较低所带来的结果。2007—2013 年在各单项生态服务功能价值中,除生物多样性保护、食物生产和原材料的生态服务功能价值下降外,其余各项均呈现增加态势。而这一期间的生态系统服务总价值迅速增加,净增加 3.472 5 亿元。主要是因为林地、草地以及水域的气候调节、气体调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理各项生态功能价值系数较大,研究期间,林地、草地和水域面积逐年增加,相应的生态服务功能价值随之增加。耕地和未利用地的食物生产、原材料和娱乐文化的生态功能价值系数不大,但研究期间其面积急剧下降,是造成各单项生态服务功能价值下降的主要原因。

表 4 沙坡头区各项生态服务功能价值变化

生态功能	2000 年		2007 年		2013 年	
	ESV _f /亿元	百分比/%	ESV _f /亿元	百分比/%	ESV _f /亿元	百分比/%
气体调节	0.6812	9.72	0.8454	10.31	1.2381	10.60
气候调节	0.7603	10.85	0.9157	11.16	1.3332	11.42
水源涵养	0.999	14.25	1.1423	13.93	1.6565	14.19
土壤形成与保护	1.4178	20.23	1.794	21.87	2.6981	23.11
废物处理	1.2806	18.27	1.4616	17.82	2.1463	18.38
生物多样性保护	1.1907	16.99	1.337	16.30	1.7017	14.57
食物生产	0.3351	4.78	0.3321	4.05	0.4249	3.64
原材料	0.1831	2.61	0.2011	2.45	0.246	2.11
娱乐文化	0.1623	2.32	0.1739	2.12	0.2309	1.98
合计	7.0101	100.00	8.2031	100.00	11.6757	100.00

3.4 敏感性指数变化分析

本研究通过将各类生态服务功能价值系数(VC)分别上调和下调 50%,从而计算得到各年份各类生态服务功能价值系数(VC)的敏感性指数(CS)(表 5)。由此可知,研究期间,沙坡头区的生态系统服务总价值对生态价值系数的敏感性指数均小于 1,说明研究区生态系统服务总价值对生态服务功能价值系

数缺乏弹性,所使用的生态服务功能价值系数较为合适,同时也进一步说明本研究估算的生态系统服务价值结果是可靠的。CS 值由高到低依次排列为草地>林地>耕地>水域>未利用地>建设用地,同时也反映了不同土地利用类型生态功能服务价值对研究区生态系统服务总价值的重要性。其中草地的敏感性指数最大(0.376 2),说明当草地的生态价值系数增

加1%时,生态系统服务总价值增加0.3762%;这主要是草地面积不断增加和生态功能价值系数大造成的原因。而未利用地的敏感性指数最小(0.0035),说明当未利用地的生态价值系数增加1%时,生态系统服务总价值增加0.0035%,这与未利用地面积的急剧下降密切相关。比较不同时期的敏感性指数发现,草地的敏感性指数逐年增加,而耕地和未利用地的敏感性指数在逐年减小,从而说明草地和耕地与林地对沙坡头区生态系统服务价值具有放大和缩小作用。

表5 生态系统服务价值敏感性指数

土地利用类型	2000年	2007年	2013年
耕地	0.0783	0.0390	0.0141
林地	0.0844	0.0791	0.0648
草地	0.2637	0.3250	0.3762
水域	0.0468	0.0391	0.0414
建设用地	0.0000	0.0000	0.0000
未利用地	0.0268	0.0179	0.0035

4 讨论与结论

2000—2013年沙坡头区土地利用结构发生巨大变化,耕地面积和未利用地面积呈现出逐年下降趋势,其他土地利用类型呈现出逐年增加的态势。2000—2007年耕地面积减少最大,而草地、林地面积增加较快,反映出沙坡头区退耕还林还草工程成果显著。2007—2013年,未利用地面积急剧下降,耕地面积也逐年减少,而草地面积和林地面积迅速上升,同时建设用地面积和水域面积也逐渐增加,主要是沙坡头区的城镇化速度加快,旅游产业的大力发展和生态保护措施的实施,促使草地、林地、建设用地和水域面积不断增加。土地利用结构的显著变化不仅受自然环境的作用,还受人为过程的干扰和影响,尤其是相关政策制度的颁布和生态环境工程的实施对土地利用结构格局的改变起到至关重要的作用。

研究区土地利用结构变化及其转变过程对研究区的生态系统服务价值具有决定性作用,研究期间,沙坡头区土地利用结构变化显著,其生态系统服务价值随之变化。2000—2007年沙坡头区生态系统服务价值增加缓慢,而2007—2013年其生态系统服务价值增加较快,主要是后期土地利用结构变化显著,草地和林地面积迅速增加带来的结果。从各土地利用类型对生态系统服务总价值的贡献率来看,草地和林地是生态系统服务总价值的主要构成部分,两者的生态系统服务价值占比67%~87%,在补偿由于耕地面积减少而带来的生态系统服务价值损失的同时,促使生态系统服务总价值的不断上升,从而推动沙坡头区生态系统服务价值结构格局发生良性转变。从研

究区各单项生态功能服务价值来看,土壤形成与保护、废物处理和生物多样性保护占生态系统服务总价值的比重最大,三者之和占生态系统服务总价值的55%左右。2000—2013年废物处理处于先减后增的变化趋势,而除气体调节、气候调节、土壤形成与保护始终保持增加状态,其余各项均处于持续下降的态势。

不同时期各类土地利用类型的敏感性指数存在较大差异,说明土地利用结构的改变对生态系统服务价值产生影响,各类生态服务功能价值系数的敏感性指数均小于1,说明生态系统服务价值缺乏弹性,本研究结果可信。

本研究利用不同时期的土地利用变化对研究区生态系统服务价值进行估算具有一定的局限性。事实上,土地利用格局的变化受制于人类活动和政策向导的直接影响,人类通过自身的行为过程对生态系统的组成、结构和功能造成影响,甚至改变其原始形态,进而影响生态系统服务价值。而在进行生态系统服务价值估算时,对每种土地利用类型采用相同的生态服务功能价值系数显然不太合理,不同土地利用类型都包括几种不同的生态系统类型,如草地就有高覆盖度草地、中覆盖度草地和低覆盖度草地,对于不同覆盖度的草地其生态系统服务价值不同。若能进一步细分,并赋予其生态功能相符合的生态服务功能价值系数,将会使研究结果更加接近实际情况。而在今后的研究中加强社会经济发展和人类活动过程中各要素对生态系统服务价值影响的探讨和进一步细分土地利用类型将更有利于生态系统服务价值评价研究,这也是本文需要进一步深入研究的部分。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 陈美球,赵宝苹,罗志军,等.基于RS与GIS的赣江上游流域生态系统服务价值变化[J].生态学报,2013,33(9):2761-2767.
- [3] 唐秀美,郝星耀,刘玉,等.生态系统服务价值驱动因素与空间异质性分析[J].农业机械学报,2016,47(5):336-342.
- [4] 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.
- [5] 刘祗坤,吴全,苏根成.土地利用类型变化与生态系统服务价值分析:以赤峰市农牧交错带为例[J].中国农业资源与区划,2015,36(3):56-61.
- [6] 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.
- [7] 刘春腊,刘卫东,陆大道,等.2004—2011年中国省域生态补

- 偿差异分析[J]. 地理学报, 2015, 70(12): 1897-1910.
- [8] Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [9] Rönönbäck P. The ecological basis for economic value of seafood production supported by mangrove ecosystems [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 235-252.
- [10] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 293-301.
- [11] Polasky S, Nelson E, Pennington D, et al. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the state of Minnesota[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2011, 48(2): 219-242.
- [12] Kozak J, Lant C, Shaikh S, et al. The geography of ecosystem service value: the case of the des Plaines and Cache River Wetlands, Illinois [J]. *Applied Geography*, 2011, 31(1): 303-311.
- [13] 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.
- [14] 陈阳, 张建军, 杜国明, 等. 三江平原北部生态系统服务价值的时空演变[J]. *生态学报*, 2015, 35(18): 6157-6164.
- [15] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(12): 3311-3319.
- [16] 涂小松, 龙花楼. 2000—2010 年鄱阳湖地区生态系统服务价值空间格局及其动态演化[J]. *资源科学*, 2015, 37(12): 2451-2460.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 夏涛, 陈尚, 张涛, 等. 江苏近海生态系统服务价值评估[J]. *生态学报*, 2014, 34(17): 5069-5076.
- [20] 李根明, 董治宝, 孙虎, 等. 豫北平原近 25 年来生态服务价值研究[J]. *环境科学研究*, 2010, 23(9): 1136-1141.
- [21] 刘海, 殷杰, 林苗, 等. 基于 GIS 的鄱阳湖流域生态系统服务价值结构变化研究[J]. *生态学报*, 2017, 37(8): 2575-2587.
- [22] 赵敏敏, 周立华, 王思源. 生态政策对库布齐沙漠土地利用格局及生态系统服务价值的影响[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(2): 252-258.
- [23] 曾杰, 李江风, 姚小微. 武汉城市圈生态系统服务价值时空变化特征[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(3): 883-891.
- [24] 熊善高, 万军, 龙花楼, 等. 重点生态功能区生态系统服务价值时空变化特征及启示: 以湖北省宜昌市为例[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(1): 296-302.
- [25] 张兴榆, 黄贤金, 赵小凤. 江苏省沿海地区土地利用变化的生态系统服务价值核算[J]. *水土保持研究*, 2015, 22(1): 252-256.
- [26] 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.

(上接第 249 页)

- [14] Wang H, Long H, Li X, et al. Evaluation of changes in ecological security in China's Qinghai Lake Basin from 2000 to 2013 and the relationship to land use and climate change [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 72(2): 341-354.
- [15] Liu Jiyuan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 195-210.
- [16] 张锐, 刘友兆. 我国耕地生态安全评价及障碍因子诊断[J]. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(7): 945-951.
- [17] 余文波, 蔡海生. 区域生态安全预警评价研究进展[J]. *中国国土资源经济*, 2017, 30(3): 52-58.
- [18] 余健, 房莉, 仓定帮, 等. 熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(5): 260-266.
- [19] 南颖, 吉喆, 冯恒栋, 等. 基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价[J]. *生态学报*, 2013, 33(15): 4790-4798.
- [20] 李建春, 袁文华. 基于 GIS 网格模型的银川市土地生态安全评价研究[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(6): 988-1001.
- [21] 马世五, 谢德体, 张孝成, 等. 三峡库区生态敏感区土地生态安全预警测度与时空演变: 以重庆市万州区为例[J]. *生态学报*, 2017, 37(24): 1-14.
- [22] 吕建树, 吴泉源, 张祖陆, 等. 基于 RS 和 GIS 的济宁市土地利用变化及生态安全研究[J]. *地理科学*, 2012, 32(8): 928-935.
- [23] 林佳, 宋戈, 宋思铭. 景观结构动态变化及其土地利用生态安全: 以建三江垦区为例[J]. *生态学报*, 2011, 31(20): 5918-5927.
- [24] 蔡海生, 刘木生, 李凤英, 等. 生态环境脆弱性静态评价与动态评价[J]. *江西农业大学学报*, 2009, 30(1): 149-155.