

# 黄土高原生态脆弱区土地利用变化对 生态系统服务价值的影响 ——以汾河流域为例

伍博炜<sup>1</sup>, 杨胜天<sup>2</sup>, 邵南方<sup>1</sup>, 彭瑞文<sup>3</sup>, 管亚兵<sup>1</sup>

(1.北京师范大学 地理科学学部, 北京 100875;

2.北京师范大学 水科学研究院, 北京 100875; 3.贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

**摘要:**土地利用变化改变区域生态系统服务价值,进而影响区域经济与生态环境保护。基于汾河流域1980年、2000年、2010年、2016年4期土地利用数据为基础,通过引用生态系统服务价值、土地利用动态度等指标,从整体和不同阶段上分析了土地利用变化对生态系统服务价值的影响。结果表明:(1)1980—2016年汾河流域土地利用类型整体以耕地、草地和建设用地为主,土地利用变化是以耕地向其他土地利用类型转移的方式为主,且综合土地利用动态度呈逐渐增长趋势。(2)1980—2016年汾河流域的生态系统服务价值呈现先增长后减少的趋势,耕地生态系统服务价值一直处于减少的趋势,退耕还林(草)政策的持续实施是导致耕地生态系统服务价值持续减少的关键原因。(3)通过汾河流域主要行政区的生态系统服务价值差异分析,1980—2016年汾河流域共有13个行政区生态系统服务价值处于增长的趋势;20个行政区生态系统服务价值处于减少的趋势。

**关键词:**土地利用;生态系统服务价值;空间变化;汾河流域

**中图分类号:**X171

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2019)05-0340-06

## Effects of Land Use Change on Ecosystem Service Value in Fragile Ecological Area of the Loess Plateau —A Case Study of Fenhe River Basin

WU Bowei<sup>1</sup>, YANG Shengtian<sup>2</sup>, SHAO Nanfang<sup>1</sup>, PENG Ruiwen<sup>3</sup>, GUAN Yabing<sup>1</sup>

(1.Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875,

China; 2.College of Water Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3.School of Geographic and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

**Abstract:**Land use change alters the value of regional ecosystem services, thus affecting regional economic sustainable development and ecological environmental protection. Based on the land use data of Fenhe River Basin in 1980, 2000, 2010 and 2016, we analyzed the impact of land use change on ecosystem service values from the whole and different stages by quoting the indexes of ecosystem service values and land use dynamics. The results show that: (1) from 1980 to 2016, cultivated land, grassland and construction land were the main land use types in Fenhe River Basin, and land use change was the main way of transferring cultivated land to other land use types; the dynamic degree of comprehensive land use was gradually increasing; (2) from 1980 to 2016, the ecosystem service values of Fenhe River Basin showed a trend of increasing first and decreasing later; the ecosystem service values of cultivated land had been decreasing; the key reason for the sustained decrease of ecosystem service values of cultivated land is the implementation of the policy of returning farmland to forestry (grassland); (3) based on the analysis of the difference of ecosystem service value in the main administrative regions of Fenhe River Basin, the ecosystem service values of 13 administrative regions in Fenhe River Basin were increasing from 1980 to 2016, while the ecosystem service values of the 20 administrative regions were decreasing.

收稿日期:2018-11-30

修回日期:2018-12-20

资助项目:国家重点研发计划(2016YFC0402403, 2016YFC0402409)

第一作者:伍博炜(1994—),男,福建松溪人,硕士生,主要从事水环境遥感与人文地理学研究。E-mail:wbwokay@mail.bnu.edu.cn

通信作者:杨胜天(1965—),男,贵州贵阳人,教授,博士生导师,主要从事水资源与水环境遥感研究。E-mail:yangshengtian@mail.bnu.edu.cn

**Keywords:** land use; ecosystem service values; spatial change; Fenhe River Basin

土地利用时空变化过程的研究是未来可持续目标实现的重要内容,是代表人类活动对自然环境影响的直接表现形式,是影响生态系统服务价值的重要因素<sup>[1-3]</sup>。生态系统服务是通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接获得的产品和服务<sup>[4]</sup>。因此,土地利用变化主导下的经济发展与生态环境相互协调是区域可持续发展的重要途径<sup>[5]</sup>。

生态系统服务价值(Ecosystem Services Values, ESV)评价是表示土地利用的生态系统服务价值与区域经济发展相互影响关系的主要方法<sup>[6-8]</sup>。1997 年 Costanza 最先通过 17 种生态系统服务功能计算了全球生态系统服务价值<sup>[4]</sup>。国外学者主要集中在理论方法的创新<sup>[9]</sup>、生态系统服务价值的定量化估算<sup>[10-11]</sup>、土地利用变化对生态系统服务价值的影响等<sup>[12-13]</sup>。国内学者研究主要集中在评估体系的研究<sup>[14]</sup>和生态系统服务与土地利用相结合的相关研究等<sup>[15-18]</sup>。

本文通过汾河流域土地利用变化研究其对生态系统服务价值的影响,结合汾河流域实际情况,对生态系统服务价值表进行了修正,采用生态系统服务价值模型(ESV)定量解释了 1980—2016 年汾河流域土地利用变化影响下的生态系统服务价值变化,为汾河流域未来可持续发展、生态环境保护 and 区域管理提供科学依据。

# 1 数据与方法

## 1.1 研究区概况

汾河流域介于 35°20′—39°00′N 和 110°30′—113°32′E,汾河干流全长 694 km,流域面积约 39 471 km<sup>2</sup>,流经太原、晋中、临汾 3 个地级市,主要涉及 30 个县。汾河是黄河的一级支流、黄土高原生态脆弱区独立的流域、山西省重要的水源地和供水区。流域内人口总数为 1 390 多万人,占山西省总人口的 39%;流域内主要市县 GDP 占全省 GDP 总量的 44%。汾河流域是山西省农业生产的主要地区,农作物以小麦、玉米等为主;且流域内煤炭、铁等矿产资源丰富,是山西省能源化工基地的重要组成部分。

## 1.2 数据来源

土地利用数据主要来源于 1980 年、2000 年、2010 年和 2016 年四期 Landsat TM, Landsat8OLI 等遥感卫星数据,空间分辨率为 30 m(下载地址: <http://www.gscloud.cn/>)。通过构建卫星影像—高分辨率遥感影像(无人机)—地面调查为一体的技术体系,结合目视解译,获得 4 期汾河流域土地利用矢量图(图 1),进而建立 1980 年、2000 年、2010 年和 2016 年汾河流域土地利用数据库;社会与经济数据来源于《山西省统计年鉴》。

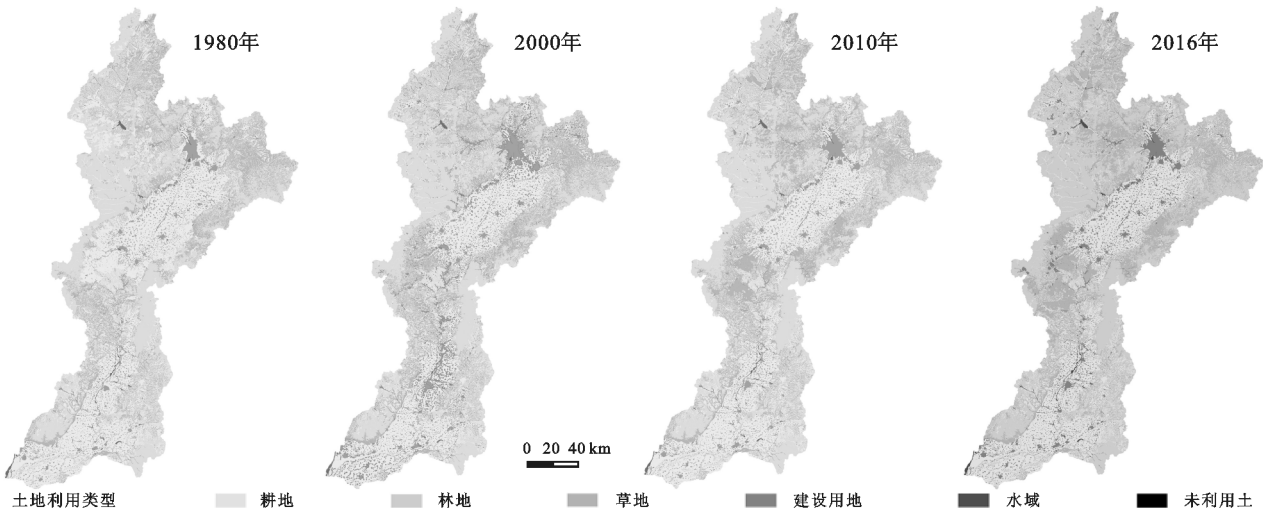


图 1 汾河流域土地利用

## 1.3 研究方法

1.3.1 土地利用动态度 土地利用动态度是表示土地利用类型数量变化、土地利用程度变化及土地利用变化的区域差异指标,按照研究对象又可以分为综合土地利用动态度与单一土地利用动态度<sup>[19]</sup>。

(1) 综合土地利用态度。综合土地利用动态度<sup>[20]</sup>表达式为:

$$LC = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \right\} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:LU<sub>i</sub>为研究起始时第 i 类土地利用类型的面积;ΔLU<sub>i-j</sub>为研究时段内第 i 类土地利用类型转为非 i 类土地利用类型面积的绝对值;T 为研究时段长度。土地利用动态度 LC 解释了与 T 时段对应的研

究区某类土地利用类型年变化率。

(2) 单一土地利用动态度。单一土地利用动态度是指在研究区一定时间范围内某一土地利用类型的数量变化情况,用来表示该土地利用类型在一定时间内的变化速度<sup>[20]</sup>,其表达式为:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_b}\times\frac{1}{T}\times100\%$$

(2)

式中:K 为研究时段内某一土地利用类型动态度;U<sub>a</sub>、U<sub>b</sub> 分别为研究期初及研究期末某一土地利用类型的数量。

1.3.2 生态系统服务价值估算 为了估算汾河流域生态系统服务价值,本文参考谢高地等人获取的生态系统服务价值当量系数,生态系统服务价值当量因子等于每年每公顷粮食价值的 1/7<sup>[21]</sup>。1980—2016

年,汾河流域的平均粮食产量为 2 408.10 kg/hm<sup>2</sup>,且 2016 年的平均粮食价格为 2.85 元/kg,因此汾河流域一个生态系统服务当量因子为 980.44 元/hm<sup>2</sup>,进而得到生态系统服务价值系数(表 1)。生态系统服务功能价值的评估公式为<sup>[21]</sup>:

$$ESV=\sum_{i=1}^n(A_i\times VC_i)$$

(3)

$$ESV_f=\sum_{i=1}^n(A_i\times VC_{fi})$$

(4)

式中:ESV 表示生态系统服务价值;A<sub>i</sub> 表示第 i 中土地利用类型的面积(hm<sup>2</sup>);VC<sub>i</sub> 表示第 i 种土地利用类型的生态系统服务价值系数;ESV<sub>f</sub> 表示生态系统第 f 项服务功能的价值;VC<sub>fi</sub> 表示第 i 种土地利用类型的第 f 项生态系统服务价值。

表 1 汾河流域土地利用类型的生态系统服务价值系数

生态系统服务与功能	林地	草地	耕地	建设用地	水域	未利用土地
气体交换/(元·hm <sup>-2</sup> )	3431.54	784.35	490.22	0	0	0
气候调节/(元·hm <sup>-2</sup> )	2647.19	882.40	872.59	0	451.00	0
水源涵养/(元·hm <sup>-2</sup> )	3137.41	784.35	588.26	0	19981.37	29.41
土壤形成与保护/(元·hm <sup>-2</sup> )	3823.72	1911.86	1431.44	0	9.80	19.61
废物处理/(元·hm <sup>-2</sup> )	1284.38	1284.38	1607.92	0	17824.40	9.80
生物多样性保护/(元·hm <sup>-2</sup> )	3196.23	1068.68	696.11	0	2441.30	333.35
食物生产/(元·hm <sup>-2</sup> )	98.04	294.13	980.44	0	98.04	9.80
原材料/(元·hm <sup>-2</sup> )	2549.14	49.02	98.04	0	9.80	0
娱乐休闲/(元·hm <sup>-2</sup> )	1254.96	39.22	9.80	0	4255.11	9.80
合计/(元·hm <sup>-2</sup> )	21422.61	7098.39	6774.84	0	45070.83	411.78

## 2 结果与分析

### 2.1 汾河流域土地利用变化分析

2.1.1 土地利用类型变化 1980—2016 年汾河流域土地利用类型变化方式主要以耕地转化为草地和林地,共有 2 668.79 km<sup>2</sup>,且耕地是所有土地利用类型转移面积最大的。其次,汾河流域土地利用变化方式以建设用地扩张为主,共有 300.64 km<sup>2</sup> 耕地、26.05 km<sup>2</sup> 林地

和 22.01 km<sup>2</sup> 草地转为建设用地;水域和未利用土地总面积变化趋势不明显(表 2)。空间上,1980—2016 年耕地的减少在太原盆地内表现尤为明显,主要在于盆地内大面积的退耕还林(草)和城镇建设用地的扩张;其次吕梁山、太行山脉和盆地边缘的一部分耕地转化为草地、林地。建设用地的变化主要表现在太原、晋中、临汾、吕梁、忻州、运城 6 个地级市发展导致耕地、林地、草地转为建设用地。

表 2 1980—2016 年汾河流域各类土地利用类型转移矩阵

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用土地	总计
耕地	14632.78	169.92	2498.87	2.95	300.64	0.29	17605.46
林地	2.71	11148.86	4.91	0.02	26.05	—	11182.54
草地	0.68	1.32	8418.22	0.00	22.01	0.21	8442.44
水域	0.17	—	0.00	339.45	0.09	—	339.71
建设用地	6.46	0.02	0.00	0.09	2098.83	—	2105.40
未利用土地	—	—	—	—	—	3.32	3.32
总计	14642.79	11320.12	10921.99	342.52	2447.62	3.82	39678.87

2.1.2 动态度分析 从综合土地利用动态度看(表 3),1980—2000 年、2000—2010 年和 2010—2016 年这 3 个阶段综合土地利用动态度分别为 0.27%,0.32%,0.46%,综合土地利用动态度随着年份增加而增大,表明汾河流

域土地利用变化受人类活动的影响更显著,社会经济发展对土地利用格局的影响更强烈。

单一土地利用动态度一定程度上体现当前社会经济发展对汾河流域不同土地利用类型变化的影响。

总体上,1980—2016 年内汾河流域耕地持续减少,减少速度分别为 0.46%,0.56%和 0.51%,是所有土地利用类型中减少速度最快的。草地与建设用地在这 3 个时期内的变化趋势呈一种稳定增长的情况,其中草地的增长速度分别为 0.74%,0.90%和 0.57%;相对于其他土地利用类型草地增长最稳定且维持较高的增长速度。林地和水域变化趋势较为稳定,而 2010—2016 年末利用土地是所有土地利用类型增加速度最快的为 2.53%。

表 3 1980—2016 年汾河流域土地利用变化动态度

土地利用类型	%		
	1980—2000 年	2000—2010 年	2010—2016 年
耕地	−0.46	−0.56	−0.51
林地	0.07	0.00	−0.01
草地	0.74	0.90	0.57
水域	0.03	0.00	0.04
建设用地	0.49	0.15	0.74
未利用土地	0.00	0.00	2.53
综合土地利用动态度	0.27	0.32	0.46

表 4 汾河流域 1980—2016 年各类用地生态系统服务价值及变化

土地利用类型		林地	草地	耕地	建设用地	水域	未利用土地	总计
1980 年	ESV/(10 <sup>8</sup> 元)	239.528	59.919	119.206	0	15.299	0.0014	433.954
2000 年	ESV/(10 <sup>8</sup> 元)	242.650	68.805	108.340	0	15.387	0.0014	435.183
2010 年	ESV/(10 <sup>8</sup> 元)	242.560	74.963	102.264	0	15.387	0.0014	435.176
2016 年	ESV/(10 <sup>8</sup> 元)	242.465	77.518	99.146	0	15.426	0.0016	434.557
1980—2000 年	ESV/(10 <sup>8</sup> 元)	3.121	8.886	−10.866	0	0.088	0	1.229
	变化率/%	1.30	14.83	−9.12	0	0.57	0	0.283
2000—2010 年	ESV/(10 <sup>8</sup> 元)	−0.090	6.158	−6.076	0	0	0	−0.007
	变化率/%	−0.04	8.95	−5.61	0	0	0	−0.002
2010—2016 年	ESV/(10 <sup>8</sup> 元)	−0.094	2.555	−3.118	0	0.039	0.0002	−0.619
	变化率/%	−0.04	3.41	−3.05	0	0.25	15.17	−0.142
1980—2016 年	ESV/(10 <sup>8</sup> 元)	2.937	17.599	−20.060	0	0.127	0.0002	0.602
	变化率/%	1.23	29.37	−16.83	0	0.83	15.17	0.14

空间上,本文对生态系统服务价值重新分级:极低(<5 000 元/hm<sup>2</sup>)、低(5 000~10 000 元/hm<sup>2</sup>)、中等(10 000~30 000 元/hm<sup>2</sup>)、高(30 000~50 000 元/hm<sup>2</sup>)。1980—2016 年生态系统服务价值高的区域分布与水域分布相一致。生态系统服务价值中等的区域分布与林地的分布相一致,位于汾河流域的两侧区域,且主要分布在吕梁山与太行山等区域。生态系统服务价值低的区域与草地和耕地的空间分布相吻合,且主要分布在吕梁山东边与太行山西边。生态系统服务价值极低的区域主要分布于汾河流域内各城市的建设用地内,以太原市和晋中市最为显著。极低区域随着城市发展快速扩张呈现扩大的趋势,并沿汾河两岸扩张(图 2)。

2.2 汾河流域生态系统服务价值时空变化

时间上(表 4),1980—2016 年汾河流域的生态系统服务价值呈现先增长后减少的趋势,从 1980 年的 433.954 亿元增加到 2010 年的 435.176 亿元,最后减少到 2016 年的 434.557 亿元。1980—2016 年汾河流域的生态系统服务价值增长率为 0.14%。1980—2000 年林地的生态系统服务价值增加了 1.30%,而 2000—2010 年与 2010—2016 年却分别减少了 0.04%和 0.04%。草地的生态系统服务价值呈逐渐增加的趋势,1980—2000 年、2000—2016 年与 2010—2016 年分别增加 14.83%,8.95%与 3.41%。耕地生态系统服务价值一直处于衰减的趋势,1980—2000 年、2000—2016 年与 2010—2016 年分别减少 9.12%,5.61%与 3.05%,黄土高原退耕还林(草)政策的持续实施是导致耕地生态系统服务价值持续减少的关键原因。水域和未利用土地生态系统服务价值表现一直较平稳,没有较大变化。

2.3 流域生态系统服务价值的差异分析

本文基于行政区域的单位面积平均生态系统服务价值来分析汾河流域各行政区的生态系统服务价值的差异性(表 5)。汾河流域主要包括 33 个行政区,从平均生态系统服务价值上看,1980—2016 年文水县的生态系统服务价值最高,但总变化量较小,平均生态系统服务价值为 15 749.08 元/hm<sup>2</sup>;1980—2016 年侯马市的生态系统服务价值最低,且处于持续减少的状态。从生态系统服务价值变化量上,1980—2016 年汾河流域共有 13 个行政区生态系统服务价值处于增长的趋势,娄烦县变化量增加最多;20 个行政区生态系统服务价值处于减少的趋势,太原市变化量减少最多,生态系统服务价值的变化量减少表明区域社会经济发展对生态环境的系统的的影响剧烈。



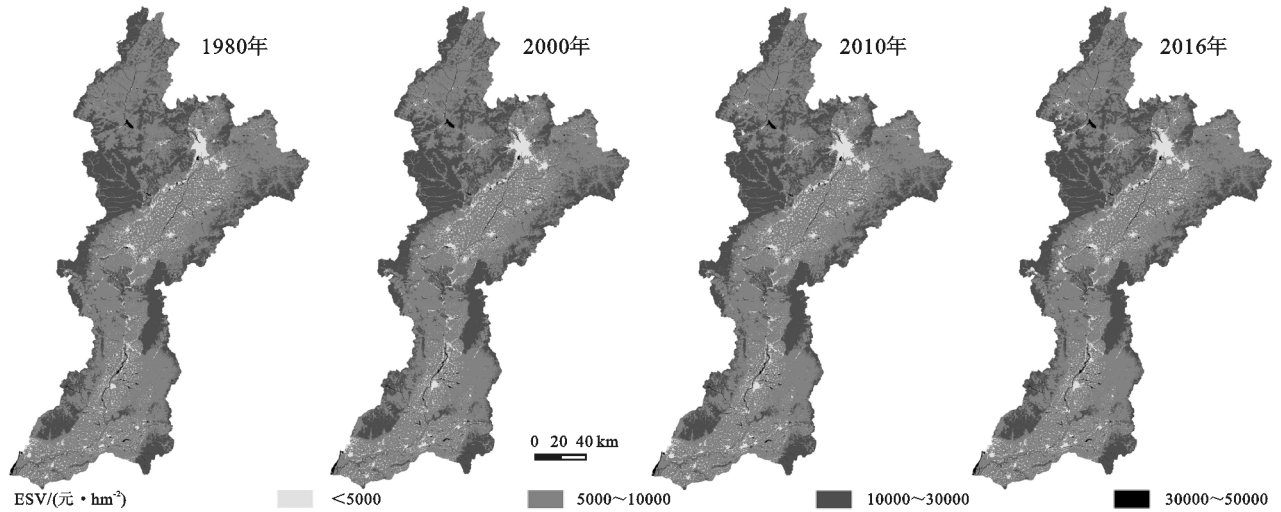


图 2 1980—2016 年汾河流域生态系统服务价值空间分布

表 5 1980—2016 年汾河流域主要行政区平均生态系统服务价值  
元/hm<sup>2</sup>

行政区	1980 年	2000 年	2010 年	2016 年	总变化量
娄烦县	13292.83	14526.72	14451.58	14363.36	1070.53
古交市	11749.40	12017.44	12039.82	12040.18	290.78
交城县	14156.97	14196.99	14202.43	14202.43	45.47
平遥县	9385.96	9428.78	9435.68	9430.99	45.03
汾阳县	9416.12	9443.77	9445.09	9455.74	39.62
祁县	8883.54	8906.69	8914.85	8920.54	37.00
洪洞县	8387.53	8387.91	8376.00	8411.53	24.00
灵石县	11187.90	11202.23	11244.55	11211.04	23.14
静乐县	10060.64	10068.42	10078.65	10081.58	20.94
介休县	9895.36	9904.68	9923.26	9912.73	17.36
阳曲县	12827.78	12833.46	12836.73	12835.49	7.71
古县	11875.81	11875.59	11878.15	11878.67	2.86
文水县	15748.38	15748.38	15749.08	15749.08	0.69
浮山县	8579.81	8565.83	8567.18	8567.18	-12.63
寿阳县	8963.31	8948.06	8951.23	8948.80	-14.51
曲沃县	7631.04	7631.04	7616.21	7616.21	-14.82
晋中市	8655.91	8639.42	8639.42	8639.56	-16.35
翼城县	9445.36	9426.13	9424.70	9424.70	-20.67
新绛县	7781.05	7772.04	7751.00	7751.00	-30.06
襄汾县	7827.32	7808.75	7796.93	7796.93	-30.40
霍州市	10535.56	10504.82	10504.82	10504.82	-30.74
大谷县	10511.95	10472.81	10474.03	10478.99	-32.95
稷山县	7233.68	7191.02	7191.02	7191.02	-42.66
临汾市	9103.21	9000.43	8999.10	9054.54	-48.68
汾西县	8666.04	8582.49	8582.69	8614.60	-51.45
清徐县	7524.87	7442.54	7442.80	7452.69	-72.18
万荣县	9146.40	9080.69	9064.07	9064.07	-82.34
河津县	7975.50	7912.86	7884.94	7884.94	-90.56
孝义市	8793.85	8863.99	8868.60	8628.67	-165.18
交口县	14780.31	14811.49	14814.17	14558.20	-222.11
侯马市	6652.79	6438.40	6416.96	6416.96	-235.83
岚县	11432.89	11374.07	11332.89	11146.28	-286.62
太原市	9160.80	8778.80	8786.10	8789.67	-371.13

3 结 论

(1) 1980—2016 年汾河流域土地利用类型以耕地、草地和建设用地为主, 占总面积的 90% 以上, 林地变化较小, 未利用土地和水域变化不显著, 整体土地利用程度高。土地利用类型转化上, 汾河流域 1980—2016 年土地利用变化以耕地向其他土地利用类型转移的方式为主。汾河流域综合土地利用动态度呈逐渐增长趋势, 表明土地利用变化受人类活动的影响更显著, 社会经济的发展对土地利用格局的影响更强烈; 单一土地利用动态度上, 耕地持续减少且减少速度最快; 草地与建设用地在 1980—2016 年时间内的变化趋势呈一种稳定增长的情况。

(2) 生态系统服务价值时空变化方面, 1980—2016 年汾河流域的生态系统服务价值呈现先增长后减少的趋势, 从 1980 年的 433.954 亿元增加到 2010 年的 435.176 亿元, 最后减少到 2016 年的 434.557 亿元。生态系统服务价值极低的区域主要分布于汾河流域内各城市的建设用地内, 以太原市和晋中市最为显著。极低区域随着城市发展快速扩张呈现扩大的趋势, 并沿汾河两岸扩张。

(3) 通过汾河流域主要行政区的生态系统服务价值差异分析, 发现 1980—2016 年汾河流域内主要市县平均生态系统服务价值文水县最高, 侯马市最低。流域生态系统服务价值变化上, 1980—2016 年汾河流域共有 13 个行政区生态系统服务价值处于增长的趋势; 20 个行政区生态系统服务价值处于减少的趋势, 生态系统服务价值的变化量减少表明区域社会经济发展对生态环境的系统的的影响剧烈。

参考文献:

[1] Lawler J J, Lewis D J, Nelson E, et al. Projected land-use change impacts on ecosystem services in the United

States[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014,111(20):7492-7497.

[2] Science I C F. International Council for Science(ICSU) [R]. International Council for Science, 2014.

[3] Zhao B, Kreuter U, Li B, et al. An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island, China[J]. Land Use Policy, 2004,21(2):139-148.

[4] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. World Environment, 1997,387(6630):253-260.

[5] 陈端吕,陈哲夫,彭保发.土地利用生态服务价值与经济发展的协调及空间分异:以西洞庭湖区为例[J].地理研究,2018,37(9):1692-1703.

[6] 王军,顿耀龙.土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述[J].长江流域资源与环境,2015,24(5):798-808.

[7] 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.

[8] 彭保发,郑俞,刘宇.耦合生态服务的区域生态安全格局研究框架[J].地理科学,2018,38(3):361-367.

[9] Buckley R. The Economics of Ecosystems and Biodiversity:ecological and economic foundations. [J]. Austral Ecology, 2011,36(6):34-35.

[10] Posner S, Verutes G, Koh I, et al. Global use of ecosystem service models[J]. Ecosystem Services, 2016, 17:131-141.

[11] Ghermandi A, Sheela A M, Justus J. Integrating similarity analysis and ecosystem service value transfer: Results from a tropical coastal wetland in India[J]. Ecosystem Services, 2016,22:73-82.

[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] Grafius D R, Corstanje R, Warren P H, et al. The impact of land use/land cover scale on modelling urban ecosystem services [J]. Landscape Ecology, 2016, 31 (7): 1509-1522.

[14] 赵军,杨凯.生态系统服务价值评估研究进展[J].生态学报,2007,27(1):346-356.

[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] 熊倡英,师学义.黄土山丘区土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以长河流域为例[J].水土保持研究, 2018,25(2):335-340.

[17] 徐媛银,郭冻,薛达元,等.赣南地区土地利用格局及生态系统服务价值的时空演变[J].生态学报,2019,39(1):1-9.

[18] 张天海,田野,徐舒,等.滨海城市土地利用格局演变及对生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2018,38(21):7572-7581.

[19] 吴季秋,俞花美,肖明,等.基于 CA-Marko 模型的海湾土地利用动态预测[J].环境工程技术学报,2012,2(6): 531-539.

[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] 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.



(上接第 339 页)

[16] 吴松,安裕伦,马良瑞.城市化背景下喀斯特流域生态服务价值时空分异特征:以贵阳市南明河流域为例[J].长江流域资源与环境,2015,24(9):1591-1598.

[17] 封志明,唐焰,杨艳昭,等.中国地形起伏度及其与人口分布的相关性[J].地理学报,2007,62(10):1073-1082.

[18] 刘颖,邓伟,宋雪茜,等.基于地形起伏度的山区人口密度修正:以岷江上游为例[J].地理科学,2015,35(4): 464-470.

[19] 石垚,袁大鹏,赵雪杉,等.基于地形梯度的冀西北间山盆地生态系统服务价值评估:以河北省怀来县为例[J].水土保持研究,2018,25(3):184-190.

[20] 王劲峰,廖一兰,刘鑫.空间数据分析教程[M].北京:科学出版社,2010.

[21] 戴云哲,李江风.洞庭湖区生态用地生态服务价值时空演化的地形梯度效应[J].水土保持研究,2018,25(3): 197-204.

[22] 温晓金,杨海娟,刘焱序.基于地形因子的 km 尺度景观生态廊道布局研究[J].地理科学进展,2013,32(2): 298-307.

[23] 潘竟虎.甘肃省区域生态补偿标准测度[J].生态学报,2014,33(12):3286-3294.