

# 陕北黄土高原区生态服务价值对土地利用变化的响应

卓 静<sup>1</sup>, 朱延年<sup>2</sup>, 李 韬<sup>3</sup>, 杨承睿<sup>1</sup>

(1.陕西省突发事件预警信息发布中心, 陕西 西安 710015; 2.南京大学 大气科学学院,  
江苏 南京 210023; 3.陕西省农业遥感与经济作物气象服务中心, 陕西 西安 710000)

**摘 要:**为了给陕北黄土高原区生态恢复工程的经济效益评估提供科学数据和参考依据,基于遥感图像解译的土地利用变化数据,运用单位面积价值当量法,剖析了区域的生态系统服务价值对土地利用变化的响应。结果表明:(1) 1997—2018 年,土地利用格局的变化主要表现为农田向林木和草地转化,未利用地向草地、林木和农田转化;这些转化同时促使研究区生态系统服务价值增加 357.56 亿元,增幅 33.28%,其中榆林市增量最大,铜川市最小;除食物生产功能价值量有所减少外,其他服务价值均在增加;调节服务价值增加量最大,文化服务价值增幅最大。(2) 研究区 32.93%的区域生态服务价值增加,主要集中退耕还林区和防风治沙区;农田向林木和草地的转化是价值增加的主要驱动力,促使服务价值增加 363.64 亿元,占总增加量的 95.68%;未利用地的转化是服务价值增加的另一贡献因子,促使价值量增加 16.42 亿元,占比 4.32%。研究区 5.92%区域生态服务价值减少,集中在西部风沙区和南部残塬区;大型集中农场的修建导致林木和草地向农田转换,促使服务价值损失 70.17 亿元,占总损失量的 93.08%。(3) 榆林市辖区 43.24%的区域生态服务价值在增加,延安市 23.37%增加,铜川市仅 11.51%。(4) 在不同地物类型中,林木的生态服务价值增加最大,草地次之;农田生态系统服务价值减少最多。以上监测结果说明,研究区生态恢复工程的实施使其土地利用结构发生变化,随之促使生态服务价值显著增加,生态恢复工程取得了一定的经济效益。

**关键词:**陕北黄土高原区;生态系统服务价值;生态质量;土地利用

**中图分类号:**F301.24; X24

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2022)05-0336-07

## Response of Ecological Service Value and Quality to Land Use Change in China's Loess Plateau

ZHUO Jing<sup>1</sup>, ZHU Yannian<sup>2</sup>, LI Tao<sup>3</sup>, YANG Chengrui<sup>1</sup>

(1. Shaanxi Early Warning Center, Xi'an 710000, China;

2. School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023 China;

3. Shaanxi Meteorological Service Center of Agricultural Remote Sensing and Economic Crop, Xi'an 710000, China)

**Abstract:** In order to provide scientific data and reference basis for the assessment of the economic benefits of ecological restoration projects in the Loess Plateau region of northern Shaanxi, the response of the regional ecosystem service values to land use changes was profiled based on the land use change data interpreted from remote sensing images, using the per unit area value method. The results showed that: (1) from 1997 to 2018, the changes in land use patterns were mainly manifested by the transformation of farmland to forest and grassland, and unused to grassland, forest and farmland; these transformations simultaneously contributed to an increase of 35.756 billion yuan or 33.28% in the ecosystem service value in the study area, with the largest increment in Yulin and the smallest in Tongchuan, respectively; all service value was increasing, except for the value of food production function, which was decreasing; the value of regulating services was increasing the most, and the value of cultural services was increasing the most; (2) the increase in ecosystem service value in 32.93% of the study area mainly concentrated in the areas of returning farmland to forest and wind and sand control in the Loess Plateau area; the conversion of farmland to forest and grassland was the main driver of the increase in value, prompting an increase in service value of 36.364 billion yuan, accounting

收稿日期: 2021-06-28

修回日期: 2021-08-06

资助项目: 陕西省自然科学基金计划“气候变化背景下陕北退耕还林(草)区植被生态需水量变化研究”(2022JQ-232); 陕西省重点研发计划“基于 SCS 模型的秦岭水源涵养能力空间分异和驱动机制研究”(2022SF-432)

第一作者: 卓静(1978—), 女, 陕西西安长安人, 硕士, 正高级工程师, 主要从事生态环境动态监测评估。E-mail: 79506610@qq.com

通信作者: 朱延年(1980—), 男, 陕西西安蓝田人, 高级工程师, 博士, 主要从事生态评估和大气云物理反演工作。E-mail: yannianzhu@gmail.com

for 95.68% of the total increase; the conversion of unused land was another contributing factor to the increase in service value, prompting an increase in value volume of 1.642 billion yuan, accounting for 4.32%; the decrease of ecosystem service value in 5.92% of the study area concentrated in the western wind and sand area and the southern residual loess area; the conversion of forest and grassland to farmland due to the construction of large centralized farms contributed to the loss of service value of 7.017 billion yuan, accounting for 93.08% of the total loss; (3) the ecosystem service value was increasing in 43.24% of the areas under the jurisdiction of Yulin, 23.37% in Yan'an, and only 11.51% in Tongchuan; (4) among the different feature types, the ecosystem service value of forest increased the most, followed by grassland; the service value of farmland ecosystems decreased the most. The above monitoring results indicate that the implementation of the ecological restoration project in the study area has led to changes in its land use structure and subsequently prompted a significant increase in ecological service values, and the ecological restoration project has achieved certain economic benefits.

**Keywords:** China's Loess Plateau; ecosystem service value; ecological quality; land use

土地利用/覆被变化(LUCC)是人类活动对地球陆表自然生态系统影响最直接的表现形式,影响着各类生态系统的类型、面积和空间分布,与生态系统服务功能相互影响和相互制约。因此,基于 LUCC 来评估生态系统服务价值(Ecosystem Service Value, ESV)已经成为全球变化研究领域的核心命题之一<sup>[1]</sup>,同时也是生态和环境经济学的研究重点<sup>[2]</sup>。

Costanza 提出的 ESV 估算原理和方法<sup>[3]</sup>奠定了全球生态系统服务价值的研究基础。谢高地等<sup>[4-5]</sup>改进并制定我国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表,并被广泛应用于我国生态系统服务价值研究工作中<sup>[6-11]</sup>。黄土高原区是中国“两屏三带”生态安全格局的重要组成部分,对国家生态安全具有重要影响。同时,该地区也是生态环境高度脆弱、水土流失严重、世界土壤侵蚀最严重的地区之一<sup>[12]</sup>。陕北黄土高原区是“两屏三带”中“黄土高原—川滇生态屏障”的核心地带,生态问题众多且突出。该区域从 1999 年开始实施退耕还林、封山禁牧、防风固沙和天然林保护等一系列生态恢复工程,傅伯杰<sup>[13]</sup>、李登科等<sup>[14-15]</sup>众多学者认为工程实施叠加气候变化促使区域内植被覆盖显著提高<sup>[16-17]</sup>、土地利用/覆盖格局明显变化<sup>[18-21]</sup>。张琨等<sup>[22-23]</sup>以土壤侵蚀率、地表植被蒸散(ET)和植被净初级生产力(NPP)为指标,剖析了黄土高原植被恢复对生态系统服务的影响,结果表明土壤保持和水文调节能力增强。邓元杰等<sup>[24]</sup>运用单位面积价值当量因子法分析了 1990 年、2000 年、2015 年陕北地区生态系统服务价值时空演变规律,结果表明退耕还林还草工程实施使该地区生态环境改善,ESV 显著提升。陕北黄土高原核心地带的延安市<sup>[25]</sup>、榆阳区<sup>[26]</sup>和长武县<sup>[27]</sup>退耕还林工程优化了土地利用结构,促进了耕地向林地的流转,使区域生态服务价值迅速增加。

综合分析现有相关研究成果可以看出,目前最新研究成果截至 2015 年。因此,本文以陕北黄土高原区为目标,基于遥感图像解译的土地利用变化数据,运用价值当量法,剖析 1997—2018 年生态系统服务价值对土地利用变化的响应,研究结论可为生态工程实施 20 a 取得的经济效益评估提供科学的参考,同时可为区域可持续发展提供依据。

## 1 数据和方法

### 1.1 研究区概况

陕北黄土高原区位于整个黄土高原中部,包括榆林、延安及铜川 3 个地级市,共 25 个县 4 个市辖区(图 1)。研究区属于我国东部季风区温暖带半湿润区,大陆型季风气候,气温变化剧烈,降水变率大且主要集中在夏季。榆林市南部属于黄土高原丘陵沟壑区,北部为风沙草滩区;延安市位于黄土丘陵区腹地,属于典型丘陵沟壑区;铜川市属黄土高原南缘的残塬区。1999 年,该区域实施生态恢复工程,其中“退耕还林(草)”是工程实施范围最广、政策性最强、投资量最大的生态建设工程,国家和各地都需要投入大量的人力、物力和财力来实施该工程<sup>[28]</sup>。工程实施 20 a 来,实施情况、工程建设的质量和成效数据,成为各级政府急需了解和掌握的核心资料,进而为兑现政策及工程管理提供决策依据。

### 1.2 研究资料

在“全国遥感监测土地利用/覆盖分类体系”一级分类原则的基础上,结合陕北黄土高原区生态恢复工程实际情况,将土地利用类型分为林木、草地、居民地、工矿用地、未利用地、耕地和水体等 7 大类(表 1)。在 Landsat 5 和 Landsat 8 遥感影像基础上解译 1997 年和 2018 年的土地利用/覆盖分布数据,最终 2

期土地利用综合分类精度分别为 86.0% 和 84.0%，Kappa 系数为 0.81,0.78,均符合分类精度要求。

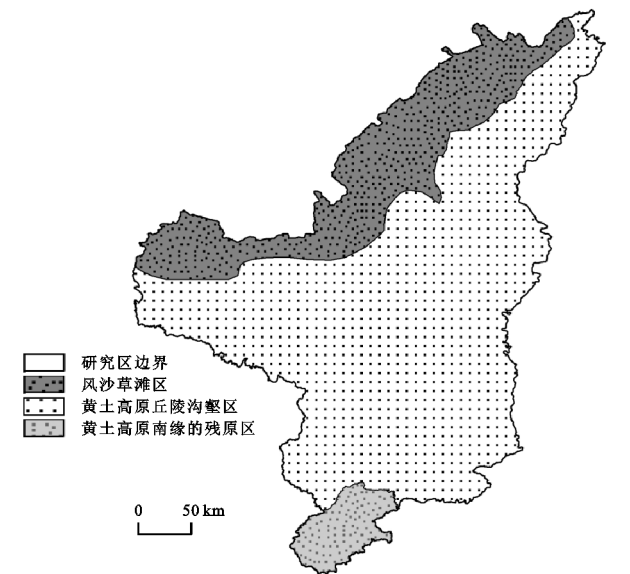


图 1 研究区位置示意图

表 1 遥感图像分类解译系统

类别	含义
水体	河流、水库、坑塘、沟渠等的水面
林木	林地、灌木、果园
草地	包括天然草地和人工草地等所有类型草地
未利用地	包括所有表面未有植被覆盖的土地
农田	包括所有种植农作物的土地
居民地	指城乡居民点,包括其内部交通、绿化用地
工矿用地	指工业用地

### 1.3 研究方法

1.3.1 土地利用/覆盖转移矩阵 土地利用转移矩阵是将两个时期的不同生态系统之间的相互转换关系通过矩阵形式加以列出,能够细致的反映区域生态系统的变化特征和各系统之间的流向,定量说明各系

统之间的相互转化状况,揭示不同生态系统间的转移概率,进而更好地了解其时空演变过程。因此,基于转移矩阵研究剖析各土地利用类型间的转换关系。

1.3.2 生态系统服务价值评估 在谢高地等<sup>[5]</sup>修订的“中国陆地生态系统单位面积生态系统服务价值当量表”基础上,优化提出陕北黄土高原区不同土地利用类型单位面积生态服务价值表(表 2),在该表的基础上,通过公式(1—2)分析研究区生态服务价值。

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

$$VC_i = \sum_{j=1}^n EC_j \times E_a \quad (2)$$

式中:ESV 是生态系统服务价值(元/a); $i$  是土地利用类型; $j$  是生态系统服务类型; $A_i$  是第  $i$  类土地利用类型的面积( $\text{hm}^2$ ); $VC_i$  是第  $i$  类土地利用类型单位面积的生态服务价值[元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )]; $EC_j$  是某类土地利用类型生态系统服务价值当量; $E_a$  是 1 单元生态系统服务的经济价值[元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )]。

为了精确确定研究区 1 单元生态系统服务的经济价值( $E_a$ ),通过公式(3)<sup>[29]</sup>修订获得研究区 2018 年为 910.40 元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )。

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \times \text{MCI} \quad (3)$$

式中: $E_a$  是 1 单元生态系统服务的经济价值[元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )]; $i$  是粮食作物的种类; $m_i$  为第  $i$  种粮食作物的全国平均价格(元/kg); $p_i$  是第  $i$  种粮食作物的单产( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ); $q_i$  为  $i$  种粮食作物的种植面积( $\text{hm}^2$ ); $M$  是粮食作物的总种植面积( $\text{hm}^2$ );以上粮食方面的数据均来源于《陕西省统计年鉴》<sup>[30]</sup>;MCI 是研究区农田复种指数,取 1<sup>[31]</sup>。

表 2 陕北黄土高原单位面积生态系统服务价值当量

一级分类	二级分类	林木	草地	居民地	工矿用地	未利用地	农田	水体
供给服务	食物生产	0.29	0.38	0	0	0.01	0.85	0.80
	原料生产	0.66	0.56	0	0	0.03	0.40	0.23
	水资源供给	0.34	0.31	0	0	0.02	0.02	8.29
	气体调节	2.17	1.97	0	0	0.11	0.67	0.77
调节服务	气候调节	6.50	5.21	0	0	0.10	0.36	2.29
	净化环境	1.93	1.72	0	0	0.31	0.10	5.55
	水文调节	4.74	3.82	0	0	0.21	0.27	102.24
	土壤保持	2.65	2.40	0	0	0.13	1.03	0.93
支持服务	维持养分循环	0.20	0.18	0	0	0.01	0.12	0.07
	生物多样性	2.41	2.18	0	0	0.12	0.13	2.55
文化服务	美学景观	1.06	0.96	0	0	0.05	0.06	1.89
合计		22.95	19.69	0	0	1.1	4.01	125.61

注:由于研究区林木主要是阔叶林和果园,农田主要是旱地,草地主要是灌草丛,未利用是荒漠,因此林木、农田、草地、未利用地分别使用阔叶林、旱地、灌草丛、荒漠的值,水体取水系的值。人工系统的工矿用地和居民地各项生态系统服务的价值当量均设为 0。

1.3.3 生态系统服务价值流向分析 土地利用类型 交换变化量可以客观和科学的反映某一地类的转出

和转入,因此使用这一概念剖析不同类型之间相互转化所引起的生态系统服务价值的损益,从而真实反映土地利用类型转化对生态服务价值的影响。生态系统服务价值损益计算方法见公式(4)。

$$PL_{ij}=(VC_j-VC_i)\times A_{ij} \tag{4}$$

式中:PL<sub>ij</sub>是第*i*类转化为第*j*类土地利用类型后生态系统服务价值损益;VC<sub>i</sub>,VC<sub>j</sub>分别是第*i*类和第*j*类土地利用类型的生态系统服务价值;A<sub>ij</sub>是第*i*类转化为第*j*类土地利用类型的面积。

2 结果与分析

2.1 土地利用/覆盖变化分析

综合分析土地利用类型面积变化(表 3)和转移矩阵,结果表明:1997—2018 年农田、未利用地和水体面积有所减少,林木、草地、居民地和工矿用地面积增加明显。(1) 农田面积占比由 36.52%减少至 14.37%,流出农田主要转化为林木和草地,其中 48.82%转化为林木,48.09%转化为草地,0.96%转化为未利用地。转化为林木主要集中在丘陵沟壑区,该区域是退耕还林(草)工程实施的核心区,这一转化与该工程密切相关;转化为草地主要分布在退耕还林区和毛乌素沙漠南缘风沙治理区,转变分别于“退耕还林”工程和风沙治理工程所采取的措施相对应;转化为未利用地这一现象的主要原因是农田的轮作和撂荒造成。(2) 未利用地占比由 1997 年的 6.84%减少至 2018 年的 1.83%,其中 67.87%转化为草地,19.09%转化为林木,14.48%转化为农田。转变为草地集中在毛乌素沙漠区,与防风固沙措施密切相关;撂荒农田再次

利用和近几年风沙区大型集中式农场的修建促使 46.04%的未利用转化为农田。(3) 林木面积增加最大(16 209.45 km<sup>2</sup>),草地次之(5 792.63 km<sup>2</sup>),增幅分别为 63.51%和 27.42%;新增林木主要来源于农田和草地,其中农田贡献 52.94%,草地贡献 42.74%;新增草地主要来源于农田和未利用地,两者分别贡献 62.87%和 17.50%。居民地增加幅度最大,增幅为 234.70%;其次是工矿用地,增幅 160.21%;城镇化和能源化工基地的快速发展分别是居民地和工矿用地增加的主要驱动力,这两种类型地物类型增加的面积均是由农田和草地转化而来。

2.2 生态系统服务价值量时间变化分析

根据公式(1)－(3) 计算获得研究区生态系统服务价值,结果显示(表 4):1997—2018 年研究区生态系统服务价值增加 357.56 亿元,增幅 33.28%;其中榆林市增量最大,增加 207.30 亿元,占比 57.98%,延安市次之,增加 114.53 亿元,占比 32.03%,铜川市最小,增加 35.73 亿元,占比 9.99%;就增幅而言,铜川市最大,增幅 141.29%,榆林市次之,53.11%,延安市最小,21.94%。

表 3 陕北黄土高原区 1997—2018 年各土地利用类型面积变化

土地类型	1997 年		2018 年		量/km <sup>2</sup>	增幅/%
	面积/km <sup>2</sup>	占比/%	面积/km <sup>2</sup>	占比/%		
林木	25522.09	30.47	41731.54	49.81	16209.45	63.51
草地	21125.49	25.22	26918.12	32.13	5792.63	27.42
居民地	278.65	0.33	932.63	1.11	653.98	234.70
工矿用地	128.8	0.15	335.15	0.4	206.35	160.21
未利用地	5730.04	6.84	1535.97	1.83	4194.07	73.19
农田	30594.7	36.52	12040.16	14.37	18554.54	60.65
水体	394.03	0.47	280.22	0.33	113.81	28.88

表 4 陕北黄土高原区 1997—2018 年生态系统服务价值量

服务功能		1997 年		2018 年		增加量/10 <sup>8</sup> 元	增幅%
		价值/10 <sup>8</sup> 元	比例/%	价值/10 <sup>8</sup> 元	比例/%		
供给服务	食物生产	38.06	3.54	29.87	2.09	－8.20	－21.53
	原料生产	37.49	3.49	43.28	3.02	5.80	15.47
	水资源供给	17.50	1.63	22.88	1.60	5.38	30.74
	合计	93.04	8.66	96.03	6.71	2.98	3.20
调节服务	气体调节	107.82	10.04	138.42	9.67	30.59	28.38
	气候调节	262.60	24.44	379.30	26.49	116.70	44.44
	净化环境	84.32	7.85	118.42	8.27	34.10	40.45
	水文调节	228.90	21.30	303.03	21.16	74.14	32.39
支持服务	合计	683.64	63.63	939.17	65.58	255.53	37.38
	土壤保持	137.43	12.79	171.20	11.96	33.77	24.57
	维持养分循环	11.53	1.07	13.36	0.93	1.83	15.86
	生物多样性	103.09	9.59	147.23	10.28	44.14	42.82
文化服务	合计	252.05	23.46	331.79	23.17	79.74	31.64
	美学景观	45.70	4.25	65.01	4.54	19.30	42.24
	合计	1074.43	100.00	1431.99	100.00	357.56	33.28

无论是研究初期 1997 年还是末期 2018 年,4 个一级类所占比重均为调节服务>支持服务>供给服务>文化服务,研究区内服务功能价值量均在增加。就增加量而言,调节服务价值增加量最大,增加 255.53 亿元,增幅 37.38%;供给服务增加最少,仅增加 2.98 亿元。就价值量增幅而言,文化服务价值增幅最多,增加 42.24%;供给服务增幅最小,仅增 3.2%。

在所有二级服务功能中除食物生产功能的价值量减少 8.2 亿元以外,其余二级服务功能价值均在增加,其中气候调节增加最大,增加 116.7 亿元,水资源供给服务增加最小,增加 5.38 亿元;二级服务功能价值增加量顺序依次是气候调节>水文调节>生物多样性>净化环境>土壤保持>气体调节>美学景观>原料生产>水资源供给>维持养分循环。就增加幅度而言,生物多样性最大,增幅 42.82%,美学景观次之,为 42.24%,原料生产最小,为 15.47%。

研究时间段内生态系统服务价值量变化的驱动力是土地利用变化促使低生态系统服务价值的用地类型向较高生态系统服务价值的用地转化,如农田转化为林木和草地,未利用转化为草地和耕地,林木和草地的气候调节价值、水文调节和美学景观等价值均优于农田,但食物生产功能又弱于农田。

2.3 生态系统服务价值空间变化分析

将土地利用类型空间转移变化规律和基于公式(4)的生态系统价值流向分析相结合,分析结果表明(图 2):1997—2018 年生态系统价值量变化主要发生在研究区中部偏北的区域,黄龙山和子午岭等植被覆盖较高地区的价值量基本没有变化。整个研究区有 32.93%的区域生态服务价值增加,主要集中在退耕还林区和风沙治理区。农田向林木和草地的转化是价值增加的主要驱动力,促使服务价值增加 363.64 亿元,占总增加量的 95.68%;未利用地的转化是服务价值增加的另一贡献因子,促使价值量增加 16.42 亿元,占比 4.32%,其中尤以未利用地向林木转化贡献量最大。

在整体生态系统服务价值增加的同时,研究区仍有 5.92%的区域有所减少,主要集中在西部风沙治理区和南部残塬区;上述区域是主要的农业生产基地,大型集中农场的修建导致林木和草地向农田转换,促使服务价值损失 70.17 亿元,占总损失量的 93.08%;林木和草地向未利用的转化主要是撂荒复种等多种因素,导致服务价值损失 5.22 亿元,占比 6.92%。

就研究区内各市生态服务价值演变分析结果显示,榆林市辖区内增加的区域最多,全市 43.24%的区

域价值量有所增加,7.42%减少;延安市 23.37%区域价值量增加,3.29%减少;铜川市 11.51%的面积价值量增加,12.13%面积在减少。

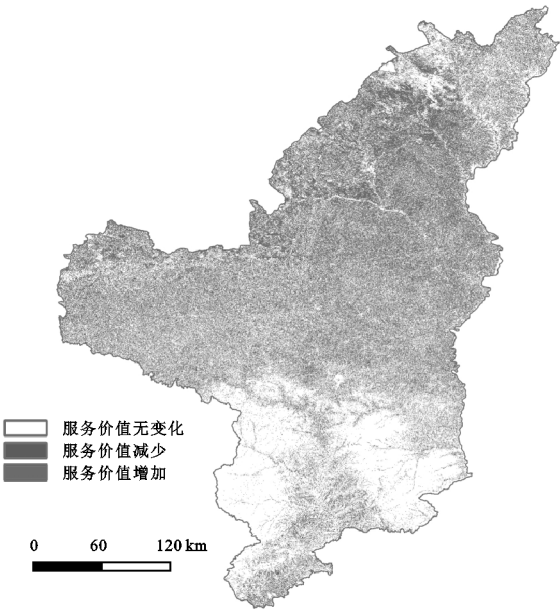


图 2 生态服务价值时空变化示意图

2.4 不同地物类型价值量变化分析

不同土地利用类型的生态系统服务价值变化也存在显著差异(表 5),在所有土地利用类型中,林木在 2 个时期的生态系统服务价值均最大,其次是草地;1997—2018 年林木和草地两类生态系统服务价值在增加,其中林木的服务价值增加 338.68 亿元,增幅 63.51%,草地增加 103.84 亿元,增幅 27.42%;农田、未利用地和水体等 3 类土地利用类型的生态系统服务价值在减少,分别减少 67.74 亿元、4.2 亿元和 13.01 亿元,减幅分别为 60.65%,73.19%和 13.01%。

3 讨论

ESV 估算方法主要有基于单位服务功能价格法和基于单位面积价值当量因子法,当量因子法对于数据需求少,可行性高而应用广泛。故本文选择当量因子法对陕北黄土高原区生态系统服务价值进行估算。基于该方法的生态系统服务价值受各土地利用类型面积和生态服务当量共同影响,因此对土地利用类型面积的精度要求较高。本文使用的土地利用数据源于空间分辨率 30 m 的遥感图像,受限于遥感图像空间分辨率,生态系统服务价值的精度有限,若能通过更高分辨率遥感图像获取土地利用数据,将大幅提高研究结果的精度。其次,本研究的土地利用分类标准虽然是遵循“全国遥感监测土地利用/覆盖分类体系”,在一级分类原则基础上,结合生态恢复工程实际

情况,但基本仍是一级类的标准,若能在此基础上进一步细化土地利用类型,研究结果将更加科学和精确。再次,研究区杂粮作物种植较为广泛,但在研究过程中,由于数据获取限制,未能获取小米、高粱以及荞麦等农作物的种植面积,仅使用了小麦、稻谷、玉米和大豆的数据

表 5 陕北黄土高原区 1997—2018 年土地利用类型的生态系统服务价值量

地类	1997 年			2018 年			价值增幅/%
	价值/10 <sup>8</sup> 元	比例/%	生态环境指数	价值/10 <sup>8</sup> 元	比例/%	生态环境指数	
林木	533.25	49.63	0.106	871.93	60.89	0.173	63.51
草地	378.69	35.25	0.029	482.53	33.70	0.037	27.42
居民地	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
工矿用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
未利用地	5.74	0.53	0.0005	1.54	0.11	0.0001	73.19
农田	111.69	10.40	0.040	43.96	3.07	0.016	60.65
水体	45.06	4.19	0.003	32.05	2.24	0.002	28.88
合计	1074.43	100.00	0.179	1431.99	100.00	0.229	33.28

4 结 论

(1) 研究区在生态恢复工程实施前后土地利用/覆盖主要流转方向表现为农田转化为林木和草地,48.82%转化为林木,48.09%转化为草地;未利用地转化为草地、林木和农田,67.87%转化为草地,19.09%转化为林木,14.48%转化为农田,这些流转现象促使农田和未利用地面积显著减少,林木和草地面积增加明显。

(2) 土地利用格局的变化使生态系统服务价值增加 357.56 亿元,增幅 33.28%,其中榆林市增量最大,铜川市最小,增幅铜川市最大。供给、调节、支持和文化等 4 个一级服务功能的价值量均在增加,其中调节服务价值增量最大,增加 255.53 亿元,文化服务价值增幅最多,增加 42.24%;二级服务功能中只有食物生产功能的价值量有所减少。

(3) 研究区 32.93%的区域生态服务价值增加,主要集中在退耕还林区和风沙治理区,农田向林木和草地的流转,和未利用地向农田、草地和林木的流转是生态系统服务价值增加的两大贡献因子,分别使服务价值增加 363.64 亿元和 16.42 亿元;5.92%区域生态服务价值减少,集中在西部风沙区和南部残塬区,大型集中农场的修建导致林木和草地向农田转换是主要驱动力,促使服务价值损失 70.17 亿元,占总损失量的 93.08%。

(4) 研究区内榆林市辖区生态服务价值增加区域最多,有 43.24%的区域在增加;延安市次之,为 23.37%;铜川市最小,为 11.51%。就不同地物类型而言,林木生态服务价值增加最大,338.68 亿元,增幅 63.51%,草地次

来参与估算生态系统服务的经济价值,所以必然会对研究结果的客观性产生一定影响。最后,本研究只实现 ESV 的空间化定性分析,缺少空间格点化定量变化研究和驱动机制的定量化研究。因此,以上 4 个方面都将是未来值得深入研究和剖析的重点。

之,增加 103.84 亿元,增幅 27.42%;农田生态系统服务价值减少最多,67.74 亿元,减幅分别为 60.65%。

参考文献:

[1] 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.

[2] Pearce D. Auditing the earth:the value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Environment:Science and Policy for Sustainable Development, 1998, 40(2): 23-28.

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

[4] 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.

[5] 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.

[6] 郭椿阳,高尚,周伯燕,等.基于格网的伏牛山区土地利用变化对生态服务价值影响研究[J].生态学报,2019,39(10):3482-3493.

[7] 刘凤莲,杨人懿.武汉市土地利用变化及对生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2021,28(3):177-183,193,2.

[8] 雷军成,王莎,汪金梅,等.土地利用变化对寻乌县生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2019,39(9):3089-3099.

[9] 程静,黄越.宁夏回族自治区生态系统服务价值时空演变及其驱动力[J].水土保持研究,2021,28(2):382-389.

[10] 李辉,张晓媛,国洪磊.基于土地利用的三峡库区近 30 年生态系统服务价值时空变化特征[J].水土保持研究,2021,28(2):309-318.

[11] 张学斌,罗君,石培基,等.格网尺度下张掖生态系统服

- 务价值时空演变及地形梯度分异特征[J].应用生态学报,2020,31(2):543-553.
- [12] Fu B, Liu Y, Lü Y, et al. Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China [J]. *Ecological Complexity*, 2011,8(4):284-293.
- [13] 傅伯杰.退耕还林工程使黄土高原实现了环境保护和社会经济发展“双赢”[N].延安日报,2019-08-13(4).
- [14] 李登科,郭锐.陕西 MODIS/NDVI 的区域分布和季节变化[J].中国沙漠,2008,28(1):108-112,196.
- [15] 李登科,范建忠,王娟.基于 MOD17 A3 的陕西省植被 NPP 变化特征[J].生态学报,2011,30(12):2776-2782.
- [16] 何慧娟,卓静,王娟,等.陕西省退耕还林植被覆盖度与湿润指数的变化关系[J].生态学报,2016,36(2):439-447.
- [17] 黑哲,王飞,韩剑桥,等.退耕还林(草)以来陕北白于山区植被覆盖与土壤侵蚀强度变化[J].水土保持研究,2020,27(4):39-46.
- [18] 宋富强,康慕谊,段锦.陕北地区退耕前后土地利用/覆被变化及驱动力分析[J].北京师范大学学报:自然科学版,2011,47(6):634-639,661.
- [19] 刘建飞,杨勤科,梁伟,等.近 30 年来陕北黄土高原土地利用动态变化分析[J].水土保持研究,2009,16(2):112-116,269.
- [20] 卓静,朱延年,何慧娟,等.生态恢复工程对陕北地区生态系统格局的影响[J].生态学报,2020,40(23):8627-8637.
- [21] 王耀宗,常庆瑞,屈佳,等.陕北黄土高原土地利用/覆盖变化及生态效应评价[J].水土保持通报,2010,30(4):134-137,142,247.
- [22] 张琨,吕一河,傅伯杰,等.黄土高原植被覆盖变化对生态系统服务影响及其阈值[J].地理学报,2020,75(5):949-960.
- [23] 张琨,吕一河,傅伯杰.黄土高原典型区植被恢复及其对生态系统服务的影响[J].生态与农村环境学报,2017,33(1):23-31.
- [24] 邓元杰,侯孟阳,谢怡凡,等.退耕还林还草工程对陕北地区生态系统服务价值时空演变的影响[J].生态学报,2020,40(18):6597-6612.
- [25] 李蕴琪,韩磊,朱会利,等.基于土地利用的延安市退耕还林前后生态服务价值变化[J].西北林学院学报,2020,35(1):203-211.
- [26] 莫宏伟,任志远,谢红霞.风沙过渡区土地利用动态与生态效应变化分析:以榆阳区为例[J].生态学杂志,2005,24(6):619-622.
- [27] 边亮,胡志斌,宋伟东.陕西省长武县土地利用变化的生态环境效应评价[J].生态学杂志,2009,28(9):1743-1748.
- [28] 李登科,卓静,孙智辉.基于 RS 和 GIS 的退耕还林生态建设工程成效监测[J].农业工程学报,2008,24(12):120-126.
- [29] 张广朋,徐海量,杜清,等.近 20 a 叶尔羌河流域生态服务价值对土地利用/覆被变化的响应[J].干旱区研究,2016,33(6):1303-1310.
- [30] 陕西省统计局.陕西省统计年鉴—2018[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [31] 李晶,任志远.基于 SPOTNDVI 的陕西省耕地复种指数时空变化[J].干旱区资源与环境,2011,25(10):86-91.

(上接第 335 页)

- [16] Demestihis C, Plénet D, Génard M, et al. Analyzing ecosystem services in apple orchards using the STICS model[J]. *European Journal of Agronomy*, 2018,94:108-119.
- [17] 宋小青,李心怡.区域耕地利用功能转型的理论解释与实证[J].地理学报,2019,74(5):992-1010.
- [18] Lambin E F, Meyfroidt P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change[J]. *Land Use Policy*, 2010,27(2):108-118.
- [19] 张文斌,张志斌,董建红,等.多尺度视角下耕地利用功能转型及驱动力分析:以甘肃省为例[J].地理科学,2021,41(5):900-910.
- [20] 张文斌,陈英,张仁陟,等.基于脱钩分析方法的耕地占用与经济发展的关系研究:以甘肃省康乐县为例[J].自然资源学报,2013,28(4):560-570.
- [21] 王静,王雯,祁元,等.中国生态用地分类体系及其 1996—2012 年时空分布[J].地理研究,2017,36(3):453-470.
- [22] 宋小青,吴志峰,欧阳竹.1949 年以来中国耕地功能变化[J].地理学报,2014,69(4):435-447.
- [23] 马馨悦.我国粮食种植面积影响因素分析[J].宜宾学院学报,2017,17(6):120-124.
- [24] 陈磊,姜海,孙佳新,等.农业品牌化的建设路径与政策选择:基于黑林镇特色水果产业品牌实证研究[J].农业现代化研究,2018,39(2):203-210.
- [25] 陈磊,田双清,张宽,等.基于耗散结构理论的四川省耕地生态安全测度分析[J].水土保持研究,2017,24(2):307-313.
- [26] 陈磊,孙佳新,姜海,等.南京市土地利用结构时空格局及驱动因素[J].水土保持研究,2020,27(1):197-206.