

doi: 10.6046/gtzyyg.2019.03.17
引用格式: 张瑜,赵晓丽,左丽君,等.黄土高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].国土资源遥感,2019,31(3):132-139. (Zhang Y,Zhao X L,Zuo L J,et al.The impact of land use change on ecosystem services value in Loess Plateau [J]. Remote Sensing for Land and Resources ,2019,31(3):132-139.)

黄土高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响

张瑜^{1,2},赵晓丽¹,左丽君¹,张增祥¹,徐进勇¹

(1.中国科学院遥感与数字地球研究所,北京 100101; 2.中国科学院大学,北京 100049)

摘要: 深入研究黄土高原生态系统服务价值的时空变化过程、揭示该区域生态环境演变规律,对黄土高原生态环境治理和保护具有重要意义。首先,选取基于生态系统服务价值动态评估模型进行黄土高原生态系统服务价值评估;然后,引入生态系统服务价值变率指数和环境经济协调指数评估黄土高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响程度以及生态环境质量与社会经济发展的协调关系。结果表明,2000—2010 年间,黄土高原的生态系统服务价值增加了 48%,这主要得益于黄土高原综合治理使得区域植被覆盖度提高,生态系统服务功能相应增强;草地变化导致的生态系统服务价值变率最大,为 13.45;监测期间,黄土高原的环境经济协调度指数为 0.115 3,处于低度协调水平。本研究可为黄土高原生态环境治理和保护成效评估提供科学依据。

关键词: 生态系统服务价值评估;土地利用变化;时空演变分析;环境经济协调分析;遥感与 GIS

中图法分类号: TP 79; F 062.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2019)03-0132-08

0 引言

黄土高原自然地理条件复杂,在自然因素和人类活动的综合作用下,水资源短缺、水土流失及土地荒漠化等生态问题逐步加剧^[1]。为保护黄土高原的生态环境,我国实施了一系列生态工程,改变了区域土地利用方式^[2-3],导致生态环境发生了巨大变化^[4]。生态系统的变化反过来又会影响人类社会的发展,这种反馈在生态环境脆弱区和社会发展水平较高区十分显著,如姚小英等^[5]基于 1971—2010 年间甘肃玉米主产区降水及产量进行研究,结果表明甘肃地区处于不同等级的干旱风险状态,陇东黄土高原地区玉米种植受干旱影响最大。不合理的土地利用方式造成的严重后果又将敦促人类对土地利用进行管理,使其朝合理的方向改变^[6]。在研究期内,如果生态系统服务价值下降,表明研究区的土地利用方式不合理,应对土地利用方式进行调整以提升区域的生态环境质量;相反的,合理的土地利用方式会有利于区域生态环境质量的提升,进而促进区域的可持续发展。生态系统服务功能和土地利用是一个矛盾体,彼此相互联系、相互制约^[7]。因此,

研究生态系统服务价值的变化对于土地利用方式合理规划与区域环境保护有着重要的意义。

众多学者对生态系统服务功能已经开展了大量的研究,价值评估方法日益完善。1997 年,Costanza 等^[8]构建了全球的生态系统服务价值评估法;随后谢高地等^[9]据此构建了中国大陆的生态系统服务价值当量法。然而这些价值评估方法是针对全球和国家等大尺度的,在应用于区域生态系统服务价值评估时,由于空间差异较大,评估结果的准确性有待提高。此外,国内大多数研究,在借鉴谢高地的价值当量表时,对于不同时序往往采用相同的价值当量^[10-11]。这种静态评价方法未能考虑由于时间变化导致服务价值发生的变化,因此有必要构建基于时空尺度的生态系统服务价值动态评估模型,更客观地阐明不同区域、不同时序下的生态系统服务价值。

本文综合考虑生态系统服务价值的空间异质性和时间演化性,选取黄土高原生态系统服务价值动态评估模型^[12],开展黄土高原 2000 年和 2010 年生态系统服务价值评估与时空特征分析。结合黄土高原 2000—2010 年间的土地利用变化,通过生态系统服务价值变率指数分析土地利用变化对生态系统服

收稿日期: 2018-04-23; 修订日期: 2018-09-27
基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号: 2017ZX07101001)资助。
第一作者: 张瑜(1992-),女,硕士研究生,研究方向为资源环境遥感应用。Email: zhangyu@radi.ac.cn。
通信作者: 赵晓丽(1963-),女,研究员,研究方向为资源环境遥感应用。Email: zhaoxl@radi.ac.cn。

务价值的影响。最后选取环境经济协调度指数(environmental economic coordination degree, CDEE) 分析黄土高原不同区域的环境变化与社会经济发展之间的关系,评估黄土高原环境与经济协调发展状况,以期为黄土高原生态环境治理和保护成效评估提供科学依据。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

黄土高原位于 N33°41' ~ 41°16', E100°52' ~ 114°33'之间,跨青海省、甘肃省、宁夏回族自治区、陕西省、内蒙古自治区、山西省及河南省 7 个省区,总面积约 62.4 万 km²,四周高山环绕,南至秦岭,北达阴山,西以日月山、贺兰山为界,东到太行山。该区位于我国第二级地形阶梯上,由东南向西北地势逐渐升高,以六盘山和吕梁山为界将黄土高原划分为东、中、西 3 个部分。东部海拔为 500 ~ 1 000 m,中部海拔为 1 000 ~ 2 000 m,西部海拔升至 2 000 ~ 3 000 m。黄土高原地貌以黄土塬、梁、峁为主,地貌破碎且沟壑众多^[13]。全区年均气温在 3.6 ~ 14.3 ℃之间,由东南向西北跨暖温带半湿润区、暖温带半干旱区、中温带半干旱区^[14];水资源匮乏且区域分布不均,年降水为 150 ~ 750 mm,降水季节性差异大,7—8 月多发暴雨,冬季枯水期长。土地覆盖类型以草地和农田为主,湿地水体面积小(图 1)。黄土高原生态环境问题严重,主要表现为自然灾害频繁、水资源短缺、土地荒漠化及土壤侵蚀等^[15]。

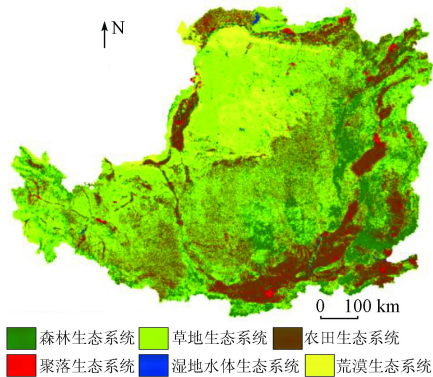


图 1 黄土高原生态系统空间分布

Fig. 1 Distribution of the ecosystems in Loess Plateau

1.2 数据源及其预处理

本文采用的数据包括土地利用、土地覆盖专题数据和社会经济数据 2 大类。

土地利用、土地覆盖专题数据是中国科学院遥感与数字地球研究所等单位利用遥感监测方法分别构建的 1:10 万比例尺长时间序列中国土地利用变

化数据库和 1:25 万比例尺长时间序列中国土地覆盖数据^[16-17]。在此基础上,利用地理信息系统技术构建了黄土高原地区 2000—2010 年间土地利用变化一级分类的 100 m × 100 m 栅格数据、2000 年和 2010 年土地覆盖一级分类的 1 km × 1 km 栅格数据以及 2010 年黄土高原生态系统空间分布,如图 1 所示。土地覆盖数据用于计算生态系统服务价值,土地利用变化数据用于分析黄土高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响。

社会经济数据包括国内生产总值(gross domestic product, GDP)、三大粮食产量、种植面积比例及单位面积净利润等。GDP 来自研究区内各省区统计年鉴,用于环境经济协调度分析;后 3 项来自全国农产品成本收益资料汇编,用于生态系统服务价值计算。

2 研究方法

2.1 生态系统服务价值变率

在社会经济发展过程中,人们频繁改变土地利用方式,使得区域生态系统内部结构和外部形态发生变化,进而影响生态系统服务价值。通过构建生态系统服务价值变率(ecosystem service value change rate, CR)^[18-19],研究土地利用变化对生态系统服务价值的影响,计算公式为

CR = |(ESV_n - ESV_m) / ESV_m| / ((A_n - A_m) / A_m), (1)

式中:ESV_m 和 ESV_n 分别为研究区某一类土地利用调整前后的生态系统服务价值;A_m 和 A_n 分别为研究区某一类土地利用调整前后的面积,m = 1, 2, ..., 6, n = 1, 2, ..., 6。

CR 能够表示某一土地利用类型的面积变化对其生态系统服务价值的重要性。CR > 1,表示该类土地利用方式的变化对生态系统服务价值的影响明显,值越大,影响越大;CR < 1,表示该类土地利用方式的变化对生态系统服务价值的影响较弱^[20-21]。

2.2 环境经济协调分析

环境与经济的协调发展是指环境子系统与经济子系统各自组成要素之间相互配合,形成互利共生的关系,二者协调发展,从而促进区域的整体利益不断得到提升^[22]。协调度是衡量系统或要素之间发展状况的量化指标。根据生态环境与经济协调发展的关系,构建 CDEE^[23-25]。CDEE 指的是在研究阶段,单位面积生态系统服务价值变化率 ESV_{pr}与单位面积 GDP 变化率 GDP_{pr}的比值,即

$$CDEE = \frac{ESV_{pr}}{GDP_{pr}}, \tag{2}$$

$$ESV_{pr} = \frac{ESV_{pn} - ESV_{pm}}{ESV_{pm}}, \tag{3}$$

$$GDP_{pr} = \frac{GDP_{pn} - GDP_{pm}}{GDP_{pm}}, \tag{4}$$

式中： ESV_{pm} 和 ESV_{pn} 分别为研究阶段始、末年份的单位面积生态系统服务价值； GDP_{pm} 和 GDP_{pn} 分别为研究阶段始、末年份的单位面积 GDP。CDEE 值越大,表明研究区生态系统服务功能变化与经济发展协调度越高,具体可分为以下 4 种情况:① $CDEE \geq 1$,表示该区域生态经济发展水平为高度协调,即生态系统服务价值增速不低于经济发展增速;② $0 < CDEE \leq 1$,为低度协调,表示该区域生态系统服务价值增速低于经济发展增速,但生态系统服务的价值没有降低;③ $-1 < CDEE \leq 0$,表示该区域的生态系统服务价值在降低,社会经济发展已经对生态环境有所破坏,二者不协调,生态环境与经济发展产生冲突;④ $CDEE \leq -1$,表示该区域的生态系统服务价值已经明显下降,生态经济发展水平极度不协调,经济发展已经对生态环境造成了严重的破坏,区域经济发展不可持续。

黄土高原整体的 CDEE 计算方法为:首先,以各省区占黄土高原面积比例为权重,计算黄土高原单位面积 GDP 变化率;然后,结合生态系统服务价值变化率,计算黄土高原整体的 CDEE。

2.3 生态系统服务价值估算技术路线

本文技术路线为:首先,采用黄土高原生态系统服务价值评估模型,计算 2000 年和 2010 年黄土

高原生态系统服务价值,并分析其随时间和空间的变化特征;然后,分析 2000—2010 年间黄土高原土地利用变化的时空特征,在此基础上评估土地利用变化对生态系统服务价值的影响;最后,采用 CDEE 分析 2000—2010 年间黄土高原生态系统服务价值变化与经济发展之间的协调关系。

3 结果与分析

3.1 黄土高原生态系统服务价值评估

2000 年黄土高原的生态系统服务价值如表 1 所示。各生态系统服务价值总共为 6 333.91 亿元。生态系统服务价值由大到小依次为草地、森林、农田、湿地水体、荒漠和聚落。其中,草地生态系统和森林生态系统为黄土高原提供了约 71% 的生态系统服务价值,荒漠仅提供约 0.1% 的服务价值,聚落提供的生态系统服务价值为负值。从提高黄土高原的生态系统服务功能角度,保护和提升森林和草地的服务功能、荒漠治理、控制城镇化过程中聚落的扩张速度是有效的环境保护措施。按照服务功能的价值由大到小依次为保持土壤、维持生物多样性、水文调节、气候调节、废物处理、食物生产、提供美学景观、原材料生产和气体调节。保持土壤服务价值居首位,其中森林生态系统和草地生态系统提供了约 79% 的保持土壤服务价值,因此,促进荒漠向草地、林地的转化,利用植被的固土能力减少荒漠的土壤流失是黄土高原水土流失治理的关键;气体调节服务价值相对最低,只占总服务价值的 2% 左右,主要是由于气体调节需依赖于湿地,而黄土高原的湿地面积仅约 52 km²,不足总面积的 1%。

表 1 2000 年黄土高原生态系统服务价值
Tab. 1 Ecosystem service value of Loess Plateau in 2000 (亿元)

服务功能	森林	草地	农田	湿地水体	荒漠	聚落	总计
食物生产	75.13	268.67	187.69	4.65	0	0	536.14
原材料生产	220.54	41.5	18.77	0.78	0.19	0	281.78
气体调节	52.51	63.35	24.4	8.08	3.29	-10.6	141.03
气候调节	250.43	249.01	187.69	77.21	2.33	0	766.67
水文调节	190.65	41.5	24.4	601.37	0	-7.16	850.76
废物处理	143.80	349.49	31.91	79.38	0.19	-1.72	603.05
保持土壤	715.75	526.42	319.07	8.38	0	0	1 569.62
维持生物多样性	306.98	786.35	187.69	14.63	1.36	0	1 297.01
提供美学景观	145.41	78.64	11.26	41.34	0.39	10.81	287.85
合计	2 101.20	2 404.93	992.88	835.82	7.75	-8.67	6 333.91

从时间上来看,2000—2010 年间,黄土高原生态系统服务价值增加了约 3 056.56 亿元,增幅高达 48% (表 2)。其中,增量最大的是草地生态系统,增加了 1 158.71 亿元,主要源于黄土高原草地面积最大且草地质量不断提升,草地生态系统服务价值增

加明显;其次是森林生态系统,服务价值的大量增加一方面得益于森林单位面积的服务价值高,另一方面是林地面积有较大的增加;湿地水体位居第三,湿地水体的单位面积服务价值最大,加上研究阶段湿地水体的面积有所增加,因此服务价值相应增

加;农田生态系统位居第四,农田面积大、机械化耕种、农药化肥的使用是农田生态系统服务价值增加的主要原因;荒漠的服务价值略有增加,主要是社

会发展系数增加使得服务价值计算的基数变大;聚落的服务价值明显下降,原因是聚落的服务价值为负值且黄土高原聚落的面积明显增加。

表 2 2000—2010 年间黄土高原生态系统服务价值变化
Tab.2 Ecosystem service value change in Loess Plateau from 2000 to 2010 (亿元)

服务功能	森林	草地	农田	湿地水体	荒漠	聚落	总计
食物生产	34.07	129.45	72.33	3.18	0	0	239.03
原材料生产	100.01	20.00	7.23	0.54	0.17	0	127.95
气体调节	23.81	30.52	9.40	5.53	2.86	-29.22	42.90
气候调节	113.57	119.98	72.33	52.85	2.01	0	360.74
水文调节	86.46	20.00	9.40	411.64	0	-10.02	517.48
废物处理	65.20	168.39	12.29	54.34	0.17	-1.85	298.55
保持土壤	324.57	253.63	122.97	5.74	0	0	706.92
维持生物多样性	139.21	378.87	72.33	10.02	1.17	0	601.61
提供美学景观	65.94	37.88	4.34	28.30	0.33	24.58	161.38
合计	952.85	1158.71	382.65	572.14	6.72	-16.51	3056.56
变化率	45.3%	48.2%	38.5%	68.5%	86.7%	190%	48.3%

从空间上来看,黄土高原生态系统服务价值总体趋势东南高、西北低(图 2),原因是东南部的水热条件更适宜植被生长。由于湿地水体的单位面积生态系统服务价值最大,生态系统服务价值最高的区域分布在河流水系地区,主要包括黄河河段、汾河、泾河及渭河;其次是黄土高原东南部,因为对应区域土地覆盖类型基本为森林,森林的生态系统服务

功能强,因此东南部的生态系统服务价值相应较高;生态系统服务价值较低的区域分布在黄土高原西部、西北部和黄土高原的甘肃地区,由于这些区域荒漠面积较大,荒漠的生态系统服务价值低;生态系统服务价值最低的区域与聚落分布基本一致,聚落的生态系统服务价值为负值,故而对对应区域的生态系统服务价值最低。

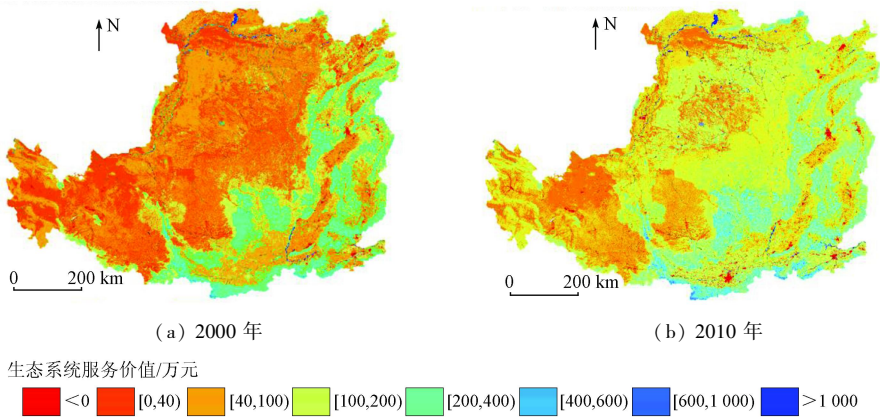


图 2 2000 年和 2010 年黄土高原生态系统服务价值
Fig.2 Ecosystem service value of Loess Plateau in 2000 and 2010

3.2 生态系统服务价值对土地利用变化的响应分析
3.2.1 黄土高原区土地利用变化的时空特征
2000 年,黄土高原土地覆盖类型构成中,草地比例最大,占 41.9%;农田次之,占 33.1%;森林比例居中,占 14.7%;再次是荒漠,占 6.4%;聚落和湿地水体比例最小,分别只有 2.4% 和 1.5%。可见,草地和农田是黄土高原土地覆盖类型的主体。表 3 为 2000—2010 年间黄土高原土地利用变化转移矩阵。由表 3 可知,2000—2010 年间,黄土高原土地利用变化面积约为 15 376.51 km²,约占黄土高原总面积的 2.5%。耕地的转入和转出面积分别为

2 222.26 km² 和 7 358.54 km²,其中流失耕地主要转出为草地、城乡工矿/居民用地以及林地,新增耕地主要由草地转入;林地净增加面积为 2 708.95 km²,主要来源是耕地和草地,表明黄土高原退耕还林政策落实良好,部分草地逐渐向森林过渡;草地面积净减少 1 360.92 km²,草地主要转出为未利用土地、耕地和林地;水域面积净增加 306.73 km²,得益于河道的治理疏通;城乡工矿/居民用地面积大幅增加,增加 2 784.79 km²,主要是占用耕地和草地;未利用土地面积净增加 696.73 km²,主要是沙地增加,表明黄土高原土地沙漠化在研究阶段尚十分严重。

表 3 2000—2010 年间黄土高原土地利用变化转移矩阵

Tab. 3 land use change transfer matrix in Loess Plateau from 2000 to 2010

(km²)

	耕地	林地	草地	水域	城乡工矿/ 居民用地	未利用土地	合计
耕地	0	1 795.40	2 774.13	566.21	1 814.85	407.95	7 358.54
林地	88.08	0	162.51	51.56	174.32	30.47	506.94
草地	1 458.60	1 325.91	0	331.11	679.05	1 562.87	5 357.54
水域	422.79	29.66	227.26	0	37.99	56.56	774.26
城乡工矿/居民用地	1.83	3.64	7.35	5.29	0	0	18.11
未利用土地	250.96	61.28	824.83	126.82	96.69	0	1 361.12
合计	2 222.26	3 215.89	3 996.62	1 080.99	2 802.90	2 057.85	15 376.51

黄土高原土地利用变化的主要类型有 8 种：耕地转草地、耕地转城乡工矿/居民用地、耕地转林地、草地转未利用土地、草地转林地、草地转耕地、未利用土地转草地以及草地转城乡工矿/居民用地，占总变化面积的 80%。

3.2.2 黄土高原土地利用变化对生态系统服务价值变化的影响

将 2000—2010 年黄土高原生态系统服务价值变化图(图 3(a))与 2000—2010 年黄土高原土地利

用变化主要类型图(图 3(b))叠加分析,发现耕地转草地、耕地转城乡工矿/居民用地、草地转未利用土地、草地转耕地、以及草地转城乡工矿/居民用地区域,使对应的生态系统服务价值呈现不同程度的下降,其中草地转城乡工矿/居民用地生态系统服务价值下降程度最大;耕地转草地、耕地转林地、草地转林地以及未利用土地转草地区域的生态系统服务价值表现为不同程度的增加,其中耕地转林地生态系统服务价值上升最显著。

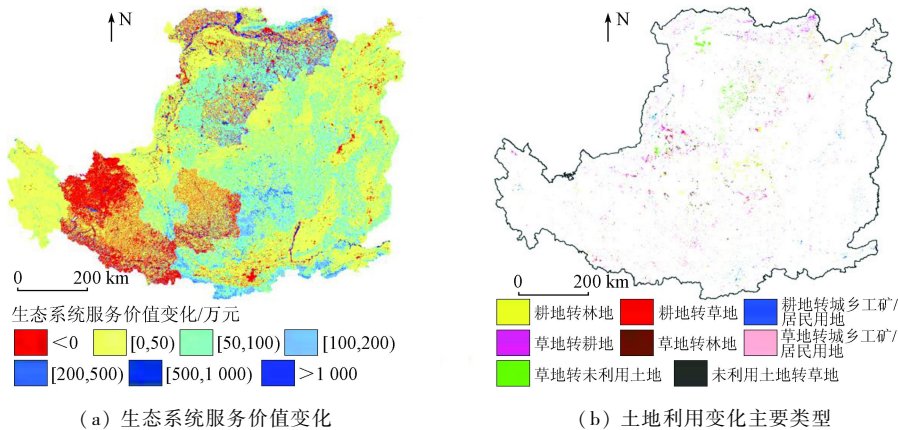


图 3 2000—2010 年黄土高原生态系统服务价值变化及土地利用变化主要类型

Fig. 3 Ecosystem service value change and major types of land use change in Loess Plateau from 2000 to 2010

2000—2010 年间,黄土高原 6 类土地利用类型的 CR 均大于 1(图 4),表明黄土高原各土地利用类型变化均会对生态系统服务价值产生重要影响。

由图 4,CR 最高的是草地,达 13.45,草地面积变化率为 3.6%,其生态系统服务价值变化率为 48.2%。由于黄土高原独特的地理条件,草地作为其最主要的土地覆盖类型,在维持黄土高原生态系统方面有着十分重要的作用。林地变化导致其 CR 位居第二,林地生态系统的服务价值高,在水土保持、风沙防治、维持生物多样性等多个方面发挥着重要作用。城乡工矿/居民用地和未利用土地对应的 CR 并列第三,这 2 类生态系统的服务功能差,因此在发展社会经济的同时应注意生态环境的保护,同时加大土地荒漠化治理力度。耕地单位面积的生态系统服务价值较低,其 CR 位居第五,黄土高原耕地面积大,减少的耕地主要转为单位面积服务价值较高的林地和草地。水域的 CR 最低,但仍对黄土高原生态系统服务价值有重要影响。

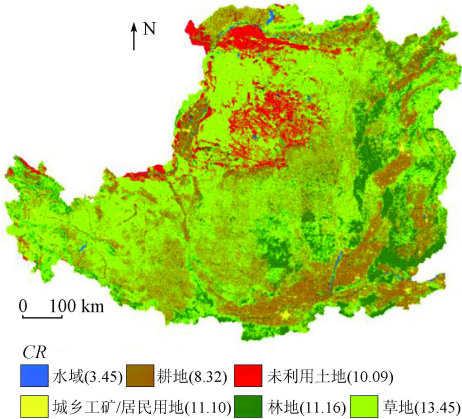


图 4 黄土高原 CR 空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of CR in Loess Plateau

3.3 环境经济协调分析

经计算,2000—2010 年间,黄土高原的 *CDEE* 为 0.115 3,环境经济协调水平为低度协调,表明黄土高原的生态系统服务价值以及 GDP 均表现为增

加,但是生态系统服务价值的增速低于 GDP 的增速。黄土高原各省区的环境状况以及经济发展水平存在差异,各省区的环境经济协调度略有区别(表 4)。

表 4 2000—2010 年间黄土高原 *CDEE*

Tab.4 Environmental economic coordination index in Loess Plateau from 2000 to 2010							
区域	宁夏回族自治区	内蒙古自治区	青海	河南	陕西	山西	甘肃
<i>CDEE</i>	0.169 6	0.142 6	0.130 9	0.116 6	0.116 5	0.078 9	0.061 0

根据表 4, *CDEE* 最高的是宁夏回族自治区,一方面是由于黄河由南至北横贯宁夏,合理灌溉使得农田生态系统服务价值增加,加上草地质量的改善,使其生态系统服务价值增速较大;另一方面是由于该地区经济发展相对于其余 6 省区较缓,大幅增加的生态系统服务价值使得其 *CDEE* 相对较高。内蒙古自治区的 *CDEE* 仅次于宁夏,内蒙古自治区草地质量改善,加上荒漠治理效益逐渐显露,生态系统服务价值增加明显;另一方面该地区社会经济快速发展,GDP 变化率高于生态系统服务价值变化率。

4 结论与讨论

通过构建时空修正的生态系统服务价值评估模型,对黄土高原生态系统服务价值进行评估,进而分析土地利用变化对生态系统服务价值影响以及环境与经济的协调度,研究得到以下结论:

1)2000 年和 2010 年黄土高原生态系统服务价值分别为 6 333.91 亿元和 9 390.46 亿元,增幅达 48%。草地生态系统服务价值增量位居榜首,增加了 158.71 亿元,主要源于黄土高原草地面积最大且草地质量有所提升,草地生态系统服务价值增加明显。

2)2000—2010 年间,黄土高原 6 类土地利用类型的 *CR* 均大于 1,表明黄土高原各土地利用类型变化均会对生态系统服务价值产生重要影响。*CR* 最高的是草地,为 13.45。结合黄土高原 2000—2010 年间土地利用变化主要类型分析可知,导致草地面积减少的主要原因是草地转为林地、未利用土地以及耕地。草地转林地,区域的生态系统服务功能增强,有利于黄土高原生态环境建设;部分草地退化转为沙地,表明黄土高原土地荒漠化治理任务尚十分艰巨;在草地转为耕地时,应注意维持区域生态系统的稳定。

3)黄土高原在 2000—2010 年间的 *CDEE* 为 0.115 3,处于低度协调水平,表明黄土高原生态系统服务价值的增速低于 GDP 的增速,但经济发展没有使得生态系统服务价值降低。*CDEE* 最高的是宁夏回族自治区,一方面是因为农田生态效益增加明

显,加上草地质量的改善,使其生态系统服务价值增速较大;另一方面是因为该地区经济发展相对于其余 6 省较缓,大幅增加的生态系统服务价值使得其 *CDEE* 相对较高。

本文在研究黄土高原土地利用变化对生态系统服务价值影响时,并未进行定量分析,在后续工作中,希望能构建生态系统服务价值对土地利用变化的响应模型,开展土地利用变化与生态系统服务价值变化之间的定量分析;另一方面,随着国家一系列重大工程的实施,黄土高原生态环境会受到重要影响,后续工作可以尝试重点分析重大生态工程的环境效益。

参考文献(References):

[1] 胡良军. 黄土高原植被恢复的土壤水分生态环境[D]. 杨凌: 西北农林科技大学,2002.
Hu L J. Ecological Environment of Soil Moisture in Vegetation Restoration on the Loess Plateau[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2002.

[2] 许炯心. 黄土高原生态环境建设的若干问题与研究需求[J]. 水土保持研究,2000,7(2):10-13,79.
Xu J X. Some issues and research need of ecological environment construction in the Loess Plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2000,7(2):10-13,79.

[3] Duan H C, Yan C Z, Tsunekawa A, et al. Assessing vegetation dynamics in the Three - North Shelter Forest region of China using AVHRR NDVI data[J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 64(4):1011-1020.

[4] Liu J G, Li S X, Ouyang Z Y, et al. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2008, 105(28):9477-9482.

[5] 姚小英, 吴 丽, 田广旭, 等. 甘肃旱作区玉米近 40 年干旱影响评估[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5):192-196.
Yao X Y, Wu L, Tian G X, et al. Drought assessment of droughty corn in Gansu Province in recent 40 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(5):192-196.

[6] 王 刚. 土地利用变化与生态系统服务价值研究——以重庆市为例[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
Wang G. Study on Land Use Change and Ecosystem Service Value: Taking Chongqing as an Example[D]. Chongqing: Southwest University, 2012.

[7] 杨雪婷, 张 林, 陈建叶, 等. 生态系统服务价值在土地整理中的应用[J]. 国土资源科技管理, 2008, 25(4):86-90.
Yang X T, Zhang L, Chen J Y, et al. Application of ecosystem serv-

ice value in land consolidation [J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2008, 25 (4) : 86 - 90.

[8] Costanza R, D' Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Ecological Economics, 1998, 25 (1) : 3 - 15.

[9] 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.

Xie G D, Lu C X, Leng Y F, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau [J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18 (2) : 189 - 196.

[10] 蔡邦成, 陆根法, 陈小骏. 生态系统服务价值评估在南京市土地利用评价中的运用 [J]. 环境保护科学, 2007, 33 (4) : 104 - 106.

Cai B C, Lu G F, Chen X J. Application of evaluation of ecosystem services' value in land use assessment of Nanjing [J]. Environmental Protection Science, 2007, 33 (4) : 104 - 106.

[11] 朱泽生, 孙 玲. 东台市滩涂生态系统服务价值研究 [J]. 应用生态学报, 2006, 17 (5) : 878 - 882.

Zhu Z S, Sun L. Ecosystem services value of coastal tidal zone in Dongtai City of Jiangsu Province [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17 (5) : 878 - 882.

[12] 张 瑜, 赵晓丽, 左丽君, 等. 黄土高原生态系统服务价值动态评估与分析 [J]. 水土保持研究, 2018, 25 (3) : 170 - 176.

Zhang Y, Zhao X L, Zuo L J, et al. Dynamic evaluation and analysis on ecosystem service value in Loess Plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25 (3) : 170 - 176.

[13] 孙文义, 邵全琴, 刘纪远. 黄土高原不同生态系统水土保持服务功能评价 [J]. 自然资源学报, 2014, 29 (3) : 365 - 376.

Sun W Y, Shao Q Q, Liu J Y. Assessment of soil conservation function of the ecosystem services on the Loess Plateau [J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29 (3) : 365 - 376.

[14] 孟庆香. 基于遥感、GIS 和模型的黄土高原生态环境质量综合评价 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.

Meng Q X. Integrative Assessment of Eco - Environmental Quality on the Loess Plateau Based on Remote Sensing, GIS and Models [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2006.

[15] 王 力, 李裕元, 李秧秧. 黄土高原生态环境的恶化及其对策 [J]. 自然资源学报, 2004, 19 (2) : 263 - 271.

Wang L, Li Y Y, Li Y Y. The eco - environment deterioration and its counter - measures in the Loess Plateau [J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19 (2) : 263 - 271.

[16] 张增祥. 中国土地覆盖遥感监测 [M]. 北京: 星球地图出版社, 2010.

Zhang Z X. China Land Cover Remote Sensing Monitoring [M]. Beijing: Star Map Press, 2010.

[17] 张增祥, 赵晓丽. 中国土地利用遥感监测 [M]. 北京: 星球地图出版社, 2012.

Zhang Z X, Zhao X L. China Land Use Remote Sensing Monitoring [M]. Beijing: Star Map Press, 2012.

[18] Abramovitz J N. Putting a value on nature's ' free' services [J]. World Watch, 1998, 11 (1) : 10 - 19.

[19] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas [J]. Ecological Economics, 2001, 39 (3) : 333 - 346.

[20] 喻建华, 高中贵, 张 露, 等. 昆山市生态系统服务价值变化研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14 (2) : 213 - 217.

Yu J H, Gao Z G, Zhang L, et al. Change in ecosystem service value in Kunshan City [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14 (2) : 213 - 217.

[21] 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.

Peng W F, Zhou J M, Yang C J, et al. Research on ecosystem service values based on land use change in Sichuan Province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23 (7) : 1053 - 1062.

[22] 苏 飞, 张平宇. 基于生态系统服务价值变化的环境与经济协调发展评价——以大庆市为例 [J]. 地理科学进展, 2009, 28 (3) : 471 - 477.

Su F, Zhang P Y. Assessment of coordinative development between economy and environment based on ecosystem service values change: A case of Daqing City [J]. Progress in Geography, 2009, 28 (3) : 471 - 477.

[23] 吴建寨, 李 波, 张新时. 生态系统服务价值变化在生态经济协调发展评价中的应用 [J]. 应用生态学报, 2007, 18 (11) : 2554 - 2558.

Wu J Z, Li B, Zhang X S. Ecosystem service value and its application in evaluation of eco - economic harmonious development [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18 (11) : 2554 - 2558.

[24] 熊宏涛, 郭 枫, 王 荣, 等. 武汉城市圈生态经济协调发展程度评价 [J]. 华中师范大学学报 (自然科学版), 2011, 45 (3) : 515 - 519.

Xiong H T, Guo F, Wang R, et al. Assessment of coordinative development between economy and environment in Wuhan metropolitan area [J]. Journal of Huazhong Normal University (Nature Sciences), 2011, 45 (3) : 515 - 519.

[25] 程 钢. 石河子垦区农业开发与绿洲生态演变研究——基于生态系统服务功能的分析 [D]. 石河子: 石河子大学, 2013.

Cheng G. Study on Agricultural Development and Oasis Ecosystem Evolution in Shihezi Reclamation Zone: Based on the Analysis About the Ecosystem Service Function [D]. Shihezi: Shihezi University, 2013.

The impact of land use change on ecosystem services value in Loess Plateau

ZHANG Yu^{1,2}, ZHAO Xiaoli¹, ZUO Lijun¹, ZHANG Zengxiang¹, XU Jinyong¹

(1. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In - depth study of the spatial - temporal change process of the ecosystem service value in Loess Plateau

reveals the evolution of the ecological environment in the region , which is of great significance to the improvement and protection of the ecological environment in Loess Plateau . In this paper , based on comprehensively considering the spatial heterogeneity and temporal evolution of ecosystem service , the authors selected the Loess Plateau ecosystem service value dynamic evaluation model to assess the ecosystem service value in Loess Plateau . The ecosystem service value variability index was used to assess the impact of land use change on ecosystem service value and the environmental economy coordination degree index (CDEE) was used to evaluate the coordinating relationship between eco - environmental quality and social and economic development in Loess Plateau . The results show that , from 2000 to 2010 , the ecosystem service value of Loess Plateau increased by 48% . This is mainly due to the desertification control in the Loess Plateau which had led to an increase in regional vegetation coverage and a corresponding increase in ecosystem services . The ecosystem service value change rate in grassland was the highest (13.45) . The CDEE was 0.115 3 in Loess Plateau from 2000 to 2010 , which was at a low level of coordination . This study can provide a scientific basis for ecological environment governance and evaluation of protection effectiveness in the Loess Plateau .

Keywords: ecosystem service value evaluation ; land use change ; dynamic evaluation of ecosystem service value ; environmental economic coordination analysis ; RS and GIS

(责任编辑: 张 仙)