

黄土高原生态系统服务价值动态评估与分析

张瑜^{1,2}, 赵晓丽¹, 左丽君¹, 张增祥¹, 汪潇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:基于中国陆地生态系统服务价值当量表,综合考虑生态系统服务功能的时空异质性和时间演化性,对生态系统服务价值当量进行时间和空间尺度的修正,降低由于社会发展、资源稀缺度变化及同一生态系统位于不同地理位置导致的价值当量变化。建立了黄土高原生态系统服务价值动态评估模型,并利用该模型开展了黄土高原生态系统服务价值时空动态评估,分析了其演变特征。结果表明:黄土高原在 2000 年、2005 年及 2010 年的生态系统服务总价值呈持续增加的态势,分别为 6 333.91 亿元、7 679.95 亿元及 9 390.46 亿元,整个时段增幅达 48%。在黄土高原各项生态系统服务功能中,保持土壤价值居首位;其中,森林和草地提供了近 80% 的服务价值,因此黄土高原治理水土流失问题的关键在于保持和提高森林和草地的质量。从空间上来看,生态系统服务价值高的区域分布在山西、河南及陕西中部和南部;生态系统服务价值增速最快的是内蒙古自治区。黄土高原地区生态系统服务价值的增加,一方面得益于退耕还林还草、三北防护林等生态措施的实施,另一方面源于人们对生态环境保护的不断重视。

关键词:遥感与 GIS; 价值当量修正; 生态系统服务价值动态评估模型; 时空演变分析; 黄土高原

中图分类号: F062.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)03-0170-07

Dynamic Evaluation and Analysis on Ecosystem Service Value in the Loess Plateau

ZHANG Yu^{1,2}, ZHAO Xiaoli¹, ZUO Lijun¹, ZHANG Zengxiang¹, WANG Xiao¹

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

Abstract: This study was conducted on the basis of Chinese terrestrial ecosystem service value equivalent. Considering that ecosystem services vary in different time and different space, ecosystem service evaluation model was improved on time and space scale in this paper. Thus the change of value equivalent that was resulted from social development, resource scarcity change and spatial heterogeneity could be reduced. Then the Loess Plateau ecosystem service value dynamic evaluation model was built. Based on the model, we can analyze the ecosystem service value change characteristics on time and space scale. The total value of Loess Plateau was 633.391 billion, 767.995 billion and 939.046 billion in 2000, 2005 and 2010, respectively. The total value increased by 48% from 2000 to 2010. The value of soil conservation which is provided nearly 80% by forestland and grassland is the highest of all the ecosystem service values. So, the key to control soil erosion in Loess Plateau is to maintain and improve the quality of forestland and grassland. If we analyze the ecosystem service value in space scale, we can find that the higher ecosystem service values distribute in Shanxi, He'nan and the central south of Shannxi. And the growth rate of neimenggu's service value was the first in the Loess Plateau. There were two reasons for the increase of ecosystem service values, one is the contribution of ecological protection measures, such as returning farmland to forestland and grassland, Sanbei shelter forest, the other is human pay more attention to ecological environment.

Keywords: RS and GIS; value equivalent correction; dynamic evaluation of ecosystem service value; spatial-temporal change analysis; Loess Plateau

黄土高原生态环境脆弱,区域自然、地理条件复杂,加之自然灾害频发及不合理的土地利用方式,使得生态环境不断恶化,尤其是水资源短缺、水土流失及土地荒漠化等生态环境问题逐步加剧^[1]。为保护黄土高原生态环境,实施了退耕还林还草^[2]、三北防护林^[3]等生态工程。已有研究表明,在一系列生态保护工程实施下,黄土高原的生态环境发生了变化^[4]。生态环境的质量决定着生态系统服务价值^[5],因此,有必要深入研究黄土高原生态系统服务价值的时空演变过程,以此揭示该区域生态环境的变化过程。

随着生态系统服务价值研究的不断深入,价值评估方法日益完善。1997年价值当量法^[6]首次被提出并被用于计算全球生态系统服务价值。随后根据中国生态系统和社会经济发展状况,提出基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值评估体系^[7]。但是该研究是针对全国尺度的,直接将其应用于计算区域生态系统服务价值时,评估结果的准确性有待提高。故学者们相继提出基于专家知识当量修正^[8],生态区位修正^[9],社会生态经济协调系数修正^[10]及生态服务价值对土地利用变化的响应^[11]等一系列研究。这些方法的改进使得生态系统服务价值计算更为准确,但只是单一方面的修正没有综合考虑同一生态系统位于不同地理位置的服务价值差异(即空间异质性)和社会经济发展对生态系统服务价值的影响。

本文基于中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表,综合考虑生态系统服务价值的空间异质性和时间演化性,融合遥感与社会经济多源数据,基于植被覆盖度和NPP^[12]开展空间异质修正^[13],基于社会发展系数和资源稀缺系数^[14]开展时间修正,建立黄土高原生态系统服务价值动态评估模型;在此基础上,开展黄土高原地区2000年、2005年、2010年间生态系统服务价值时空过程评估与动态特征分析,以期对黄土高原生态环境治理和保护成效评估提供科学依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 黄土高原概况

黄土高原地跨北纬33°41′—41°16′,东经100°52′—114°33′,东西长1 000余km,南北宽约750km,处于我国第二级地形阶梯上。黄土高原跨青海省、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,总面积约62万km²。黄土高原地势西北高,东南低,黄土覆盖厚度50~200m^[15],为世界黄土面积覆盖最大的高原。该区域植被稀疏,气候较干旱,但夏季降水集中且雨量大,流水

冲蚀作用强,因此在流水侵蚀作用下地表支离破碎,形成沟壑交错其间,造成了严重的水土流失^[16]。黄土高原水土流失面积达到42万km²,年均输入黄河泥沙16亿t,是我国乃至世界上水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区,对该区的治理乃是水土保持生态建设中最具挑战性的问题^[17]。

1.2 数据来源

所用数据包括遥感数据、专题数据和社会经济数据三大类。其中,遥感数据有NPP和NDVI数据。NPP和NDVI数据分别来自美国NASA卫星中心发布的MOD17A3的净初级生产力(NPP)和MOD13A3的归一化植被指数(NDVI),均为1km的栅格数据。

土地覆盖专题数据基于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构建的中国1:25万比例尺长时间序列中国土地覆盖数据库,该数据库是基于30m分辨率的TM影像,采用人机交互目视解译完成的全国多期土地覆盖矢量数据,其土地覆盖遥感监测分类系统包括6个一级分类,25个二级分类。一级分类为:森林、草地、农田、聚落、湿地、水体、荒漠^[18]。在此基础上,利用GIS技术构建了2000年、2005年、2010年的黄土高原地区土地覆盖一级分类的1km栅格数据。

社会经济数据包括恩格尔系数、GDP、城镇化率、人口密度、“三废”治理费用、三大粮食产量、种植面积比例及单位面积净利润。前五项来自中国统计年鉴和研究省份统计年鉴,后三项来自全国农产品成本收益资料汇编。

采用的投影为双标准纬线等面积割圆锥投影,用全国统一的中央经线和双标准纬线,中央经线为东经105°,双标准纬线为北纬25°和北纬47°,所采用的椭球体是KRASOVSKY椭球体。

2 研究方法及改进

本文基于中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表,考虑到该表是针对全国平均水平,故应用于建立黄土高原生态系统服务价值动态评估模型时,需进行以下4个方面的修正。首先,为了体现同类生态系统在不同区域服务价值的差异,对价值当量表进行空间异质修正,实现从全国到区域再到单位面积的尺度转换。其次,不同的社会经济发展水平下,人类对经济发展与生态环境保护关系的认识深浅不一,导致对生态服务价值的评估有所变化,故需对价值当量表进行社会发展系数修正。再者,由于生态资源供给关系变化时,价值也会随之改变,故也需对价

值当量进行资源稀缺度修正。以上通过对价值当量表的修正实现对生态系统服务功能量的确定,同时也需考虑生态系统服务功能单位面积价值,本文计算不同时期黄土高原总服务价值时均采用2005年不变价格作为依据,从而减弱市场经济的影响。经过以上步骤,建立黄土高原生态系统服务价值动态评估模型。

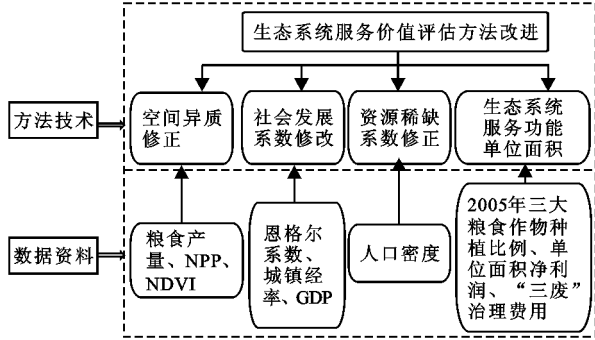


图1 研究方法改进技术路线

2.1 空间异质修正

同一类型生态系统在不同地区的内部结构和外部形态差异明显,导致其生态系统服务价值也有所不同。研究发现植被覆盖度的不同会导致生态系统服务功能的不同^[19];生物量在其形成和累积的过程中,对生态系统的服务功能会产生重要影响^[6],该要素在黄土高原尤为重要。黄土高原东西部水热条件不同,导致不同位置的同一类生态系统植被状况差异大,因此,本文选取植被净初级生产力(NPP)和植被覆盖度^[9]来进行空间异质修正。

生态系统服务价值基准价格是全国平均水平状况下的农田每年自然粮食产量的经济价值,这里黄土高原选取三大粮食主产物水稻、小麦和玉米(由统计年鉴数据可知,三大粮食作物种植面积约占农作物种植总面积70%),因此首先需要用研究区的粮食产量对价值当量进行粗修正,以实现价值当量表从全国到黄土高原的尺度转换,公式如下:

$$Q_1 = \frac{\left(\frac{r}{R} + \frac{w}{W} + \frac{c}{C}\right)}{3} \quad (1)$$

式中: Q_1 为研究区的粮食修正系数; r 和 R , w 和 W 以及 c 和 C 分别为研究区和全国的水稻、小麦、玉米每公顷产量。

一定区域的生态系统服务价值总量可表述为:

$$ESV = \sum_{i=1}^6 ESV_i \quad (2)$$

式中: $i=1,2,\dots,6$,表示生态系统的类型; ESV_i 表示第*i*类生态系统服务价值。

$$Q_{jt} = \frac{\left(\frac{NPP_t}{NPP_{mean}} + \frac{f_t}{f_{mean}}\right)}{2} \quad (3)$$

式中: $j=1,2,\dots,9$,表示第*i*类生态系统的第*j*种生态服务功能; $t=1,2,\dots,n$,表示一定区域内第*i*类生态系统在空间上分布的像元数; Q_{jt} 为研究区任一像元NPP和植被覆盖度(植被覆盖度由NDVI计算所得)的修正系数, NPP_t 和 f_t 为研究区*t*像元的净初级生产力和植被覆盖度; NPP_{mean} 和 f_{mean} 为研究区第*i*类生态系统植被净初级生产力的均值和植被覆盖度的均值。

通过对黄土高原进行NPP和植被覆盖度修正,实现价值当量表从黄土高原到像元尺度的转换。因此,研究区的空间异质修正系数 Q 可表述为:

$$Q = Q_1 \times Q_{jt} \quad (4)$$

2.2 社会发展系数修正

人类对生态系统服务功能的认识是随着时间不断变化的,不同的社会经济发展状况下,人类对经济发展与生态环境保护的认识深浅不一。黄土高原跨7个省域,不同省域社会经济发展差异明显,通过查阅大量相关文献,这里选取黄土高原7省的恩格尔系数^[14]、GDP^[20]和城镇化率^[21]3个指标进行社会发展系数修正。恩格尔系数是食品支出总额占个人消费支出总额的比重。GDP是核算国民经济的核心指标,也是衡量一个国家或地区总体经济状况的重要指标。城镇化是人口从农村向城市迁移聚集的过程,同时也带来地域景观、产业结构及生活方式的变化。采用经济学上的皮尔生长曲线模型来表示社会发展阶段系数。

$$l = \frac{L}{1 + e^{-\left(\frac{1}{E_n} - 3\right)}} \quad (5)$$

式中: l 为与现实支付意愿有关的社会发展阶段系数; L 为极富阶段的支付意愿,取值为1; e 为自然对数; E_n 为恩格尔系数。

由于各地区的福利待遇、价格体系等差异较大,只用恩格尔系数来反应社会发展阶段系数可能导致误差,因此,引入GDP和城镇化率来进一步修正社会发展阶段系数,如下:

$$D = \frac{l}{l_{mean}} \times \frac{U}{U_{mean}} \times \frac{GDP}{GDP_{mean}} \quad (6)$$

式中: D 为研究区的社会发展系数, l , U 和GDP为研究区各省的社会发展阶段系数、城镇化水平和GDP产值; l_{mean} , U_{mean} 和 GDP_{mean} 为全国平均水平的社会发展阶段系数、城镇化水平和GDP均值。

2.3 资源稀缺系数修正

资源稀缺度是反映某区域在经济、社会和环境可持续发展过程中生态资源需求量与供给量之间的关系^[22]。生态系统资源稀缺度变化时,依据经济学上的供

求关系,其价值也会发生变化。黄土高原人口密度差异大,生态资源需求量与人口总数^[12]呈线性相关性,因此选用人口密度来进行资源稀缺系数修正,如下:

$$S = \frac{\ln p}{\ln P} \quad (7)$$

式中: S 是资源稀缺系数; p 和 P 是研究区人口密度和全国平均人口密度。

2.4 黄土高原生态系统服务功能单位面积价值的确定

1个标准单位生态系统生态服务价值当量因子是指1 hm²全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值。以三大粮食主产物稻谷、小麦和玉米单位面积农田生态系统粮食生产的净利润按种植面积比例加权分配,作为1个标准生态服务价值当量因子的价值量。2000年、2005年及2010年粮食的净利润受市场经济的影响很大,所以如果用当年净利润计算生态系统服务价值的话,无法区分生态系统服务价值的变化是粮食净利润的变化还是生态系统服务功能的变化导致的。因此这里采用2005年粮食的净利润作为不变价格来计算黄土高原生态服务价值当量因子的价值量^[14]。公式如下:

$$P = \sum_{m=1}^3 N_m \times Y_m \times \frac{a_m}{A} \quad (8)$$

式中: P 是黄土高原1个标准单位当量因子的价值量; $m=1,2,3$ 分别指稻谷、小麦及玉米; N 是1 kg粮食主产物的净利润; Y 是单位面积粮食产量; a_m 是黄土高原稻谷、小麦及玉米的种植面积; A 是黄土高原三大粮食主产物种植总面积。

经过计算,黄土高原在2005年1个标准单位当量因子的价值量是1 843.1元/hm²,并根据公式10计算得到的黄土高原2000年、2005年及2010年当量的修正系数,结合中国生态系统单位面积生态服务价值当量表,可得到森林、草地、农田、湿地水体以及荒漠的生态系统服务功能单位面积价值。

由于中国陆地生态系统服务价值当量表中没有考虑聚落的服务价值,因此单独考虑聚落的生态系统服务功能单位面积价值。其中,聚落在气体调节价值、废物处理价值和水文调节价值采用防治成本法计算,通过各省的废气、废水、废物治理投入金额,以研究区与各省聚落面积比例作为权重,通过面积加权计算黄土高原聚落的生态系统服务价值;聚落提供美学景观价值,同样的按照面积加权方式取各省旅游收入的1/3^[23]。

2.5 黄土高原生态系统服务价值评估模型建立

在进行了空间异质修正、社会发展系数修正、资源稀缺系数修正及确定生态系统服务功能单位面积

价值后,得到研究区生态系统服务功能总价值为:

$$ESV_s = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^9 \sum_{t=1}^n R_{jt} ESV_{ij} A_{jt} \quad (9)$$

$$R_{jt} = Q \times D \times S \quad (10)$$

式中: i, j, t 如上所述; ESV_{ij} 为第 i 类生态系统的第 j 种生态服务功能的单位面积价值; R_{jt} 表示每个像元的修正系数; A_{jt} 表示各个像元的面积,如果为等面积投影,则为给定的常数, ESV_s 为生态系统服务总价值。

在ArcGIS平台支持下,对空间异质修正结果按省边界进行分割,与计算所得的各省社会发展系数、资源稀缺系数进行叠加,得到黄土高原价值当量修正结果。然后按6类土地覆盖类型进行分割,与中国陆地生态系统服务价值当量表及生态系统服务功能单位面积价值进行叠加,计算可得黄土高原2000年、2005年及2010年的生态系统服务价值。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务价值当量修正结果

3.1.1 空间异质修正结果 黄土高原3 a空间异质系数大于1的区域主要分布在黄土高原东部、南部和西南部(图2),表明这些区域的植被覆盖度和净初级生产力高于黄土高原平均水平。空间异质系数低于0.5的区域集中在黄土高原西北、西部,主要是这些区域的自然条件比黄土高原平均水平差;结合土地覆盖类型图发现,这些区域与荒漠分布大致吻合,荒漠的水热条件相对差,导致植被覆盖度和净初级生产力低于黄土高原平均水平。

比较黄土高原不同时期的空间异质修正系数图,可以看到修正系数为1~2的区域逐渐由东南向西北扩张,修正系数为0~0.5的区域表现为先增加后减小。受地理环境因素的影响,不同地区同种土地覆盖类型的植被覆盖度和净初级生产力差异明显,进而影响生态系统服务价值,因此对黄土高原进行空间异质修正是很有必要的。

3.1.2 社会发展系数修正结果 除内蒙古自治区2005年和2010年的社会发展系数大于1外,黄土高原其余6省在2000年、2005年及2010年社会发展系数均低于1(图3A),说明黄土高原社会经济发展整体水平低于全国平均水平。这主要是因为黄土高原地理环境和气候条件较差,经济发展速度低于全国平均水平,而内蒙古自治区能源矿产丰富、畜牧业发达,所以社会发展系数高。从社会发展系数变化角度分析,2000—2010年黄土高原各省的社会发展系数不同程度的增加。

3.1.3 资源稀缺系数修正结果 黄土高原7省在

2000—2010年各省资源稀缺系数变化不大,主要是各省人口总数变化不明显(图3B)。比较黄土高原7省的资源稀缺系数,差异明显。资源稀缺系数最大的是河南省,其次是山西、陕西,并且这3个省的资源稀缺系数大于1,即相比于全国平均水平,这3个省由

于人口总数大导致资源更紧缺;宁夏回族自治区和甘肃省资源稀缺系数介于0.8~1;内蒙古自治区资源稀缺系数约为0.6,低于全国平均水平,是由于内蒙古自治区自然资源储量大且人口密度小;青海省资源稀缺系数最低,主要是由于人口密度小。

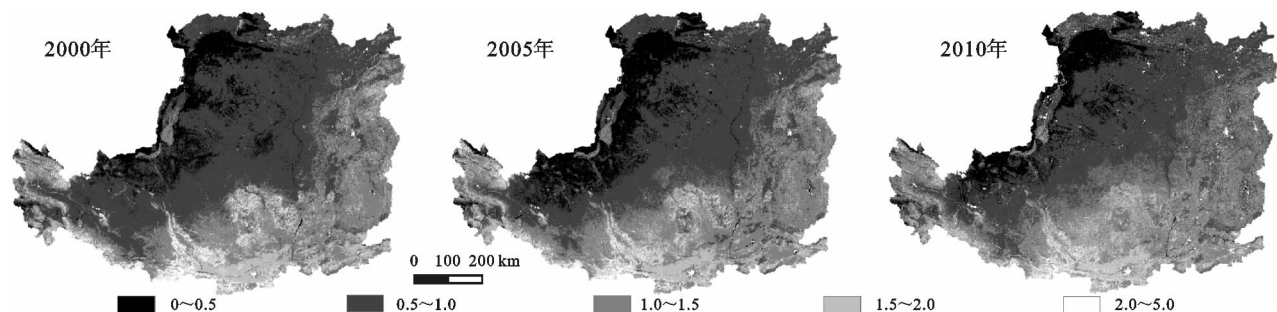


图2 黄土高原空间异质修正系数

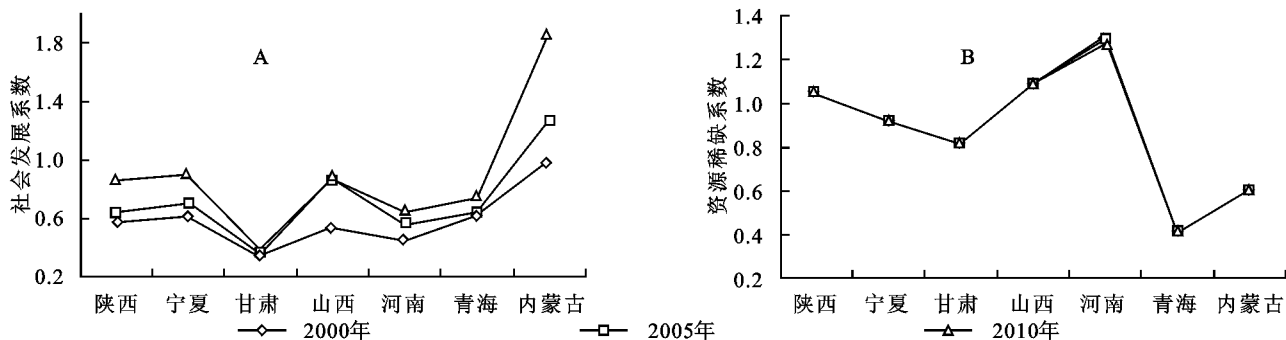


图3 黄土高原社会发展系数修正(A)及黄土高原资源稀缺系数修正(B)

3.2 黄土高原生态系统服务价值时空特征分析

采用黄土高原生态系统服务价值评估模型,计算

黄土高原2000年、2005年及2010年的生态系统服务价值(图4)。

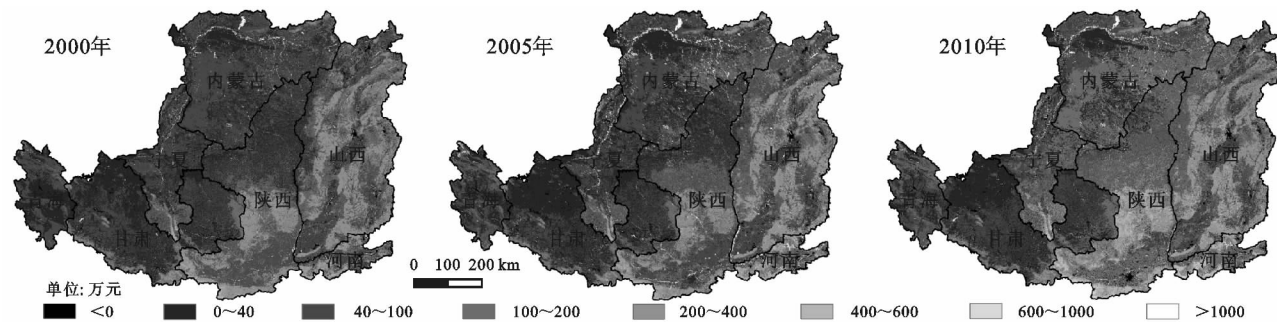


图4 黄土高原生态系统服务价值

3.2.1 黄土高原生态系统服务价值时间变化分析 黄土高原在2000年、2005年及2010年的生态系统服务总价值分别为6 333.91亿元、7 679.95亿元及9 390.46亿元,整个时段增幅达48%。2010年黄土高原9项生态系统服务功能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>气体调节(表1)。黄土高原生态系统服务功能中保持土壤价值居首位,约占黄土高原生态系统服务功能总价值的1/4;其中,森林和草地提供的保持土壤价值约占80%,这说明黄土高原治理水土流失问题的关键在于保持和提

高森林和草地的质量。维持生物多样性价值居第二位,约占总服务价值的1/5。黄土高原生态系统服务价值中,气体调节价值较低,只占总服务价值2%左右,主要是因为黄土高原湿地和森林少,而气体调节主要依赖于湿地和森林生态系统^[5]。

2000—2005年,黄土高原森林生态系统和草地生态系统服务价值增量约占服务价值总增量的70%,表明黄土高原生态环境的改善主要得益于森林和草地面积的增加。其次,对黄河河道清淤、上游生态建设减少水土流失等措施收效显著,故湿地水体生态服务价值增加,且增量约占总增量的18%。农田生态

系统服务价值也有较大增加,约占服务价值总增量的 11%,主要源于农药化肥的使用、农田水利灌溉设施的

建设及机械化耕作等方面。国家对荒漠的治理使得荒漠生态环境逐渐改善,其服务价值增加近 2.8 亿元。

表 1 2010 年黄土高原各土地覆盖类型生态系统服务价值 亿元

类型	森林	草地	农田	湿地水体	荒漠	聚落	总计
食物生产	109.20	398.12	260.02	7.83	0.00	0	775.17
原材料生产	320.55	61.50	26.00	1.32	0.36	0	409.73
气体调节	76.32	93.87	33.80	13.61	6.15	-39.82	183.93
气候调节	364.00	368.99	260.02	130.06	4.34	0	1127.41
水文调节	277.11	61.50	33.80	1013.01	0.00	-17.18	1368.24
废物处理	209.00	517.88	44.20	133.72	0.36	-3.57	901.60
保持土壤	1040.32	780.05	442.04	14.12	0.00	0	2276.54
维持生物多样性	446.19	1165.22	260.02	24.65	2.53	0	1898.62
提供美学景观	211.35	116.52	15.60	69.64	0.72	35.39	449.23
合计	3054.05	3563.64	1375.53	1407.96	14.47	-25.18	9390.46

2005—2010 年,黄土高原生态服务价值持续增加,其中约 40%的服务价值增量由草地贡献,退耕还草生态工程效益明显,加上合理放牧使得草地生态恢复。森林生态服务价值增速较前一时段有所降低,下降 8%左右,原因是前期造林多、收效快,后一阶段造林速度减缓。湿地水体服务价值增加约 318 亿元。农田服务价值增量约占价值总增量的 13%,增速较 2000—2005 年提高 2%,主要是农民耕作水平的进一步提高和机械化的推广。聚落的生态系统服务价值减少速度变缓,原因是对于工业三废的治理力度加强及居民生活垃圾集中处理,降低对环境的污染。

3.2.2 黄土高原生态系统服务价值空间差异分析

从空间上来看,生态系统服务价值高的区域分布在山西、河南及陕西中部和南部,生态系统服务价值增速最快的是内蒙古自治区。对比不同时期黄土高原生态系统服务价值图发现,黄土高原东南部单位面积生态系统服务价值为 200~600 的区域面积在增大,并且单位面积价值也有所增加(图 4)。这是由于东南部黄土厚度高于西北部,并且东部海拔比西部低,更适宜植被生长;此外,由于三北防护林^[9]的生态工程建设,东南部森林的面积增加,也使得该区域生态系统服务价值增加。黄土高原西北部的生态系统服务价值也表现为增加,结合土地覆盖数据分析,主要是由于退耕还草的政策^[3]落实良好,使得草地面积增加,生态环境质量改善,该区生态系统服务价值增加。2000—2005 年,土地覆盖类型变化较大,主要发生在内蒙古、宁夏北部及甘肃东部、陕西北部,主要方式是农田转换为草地和林地。2005—2010 年土地覆盖类型变化相对减弱,比较明显的是内蒙古自治区的黄河河段附近区域植被覆盖度增加。

结合土地覆盖变化分析各省生态系统服务价值的空间特点,发现内蒙古自治区生态系统服务价值增加显著,这与该区域社会经济发展快、草场面积增加等关系密切。陕西省中部和南部森林和草地分布广且质量改善,因此生态服务价值高、增加明显;陕西北部草地覆盖度从 2000—2010 年呈增加趋势,所以生态服务价值相应增加。山西省耕地以水田和水浇地为主,水田和水浇地相比于旱地植被长势更好,且山西省森林面积大,故生态系统服务价值最高。宁夏回族自治区土地覆盖类型以草地和农田为主,全省生态系统服务价值增加明显,农田耕种水平提高、社会发展系数提高是其增加的主要原因。甘肃省主要土地覆盖类型是草地和农田,但由于社会发展系数低、海拔高及水热条件不适宜,导致生态系统服务功能较低且增加不明显。青海省土地覆盖类型以草地、农田和森林为主,该区自然条件较差,导致粮食产量低,并且资源稀缺度低,因此青海省生态系统服务价值低。河南省只有小部分区域属于黄土高原,主要土地覆盖类型为农田和森林,该区域水源充足,气候适宜,植被生长状况好,且资源稀缺度高,因此生态系统服务价值高。

4 结论与讨论

(1) 建立了黄土高原生态系统服务价值动态评估模型。本文结合黄土高原地域特色,对生态系统服务价值当量进行修正,提高了原有生态系统服务价值评估模型的时空适用性。空间尺度上利用植被覆盖度和 NPP 数据进行修正,能够直观的显示不同区域的生态服务价值的差异;同时,考虑社会经济发展和资源稀缺度,探索不同时期生态系统服务价值当量随时间的变化,使得生态服务价值评估模型能够反映社

会发展的映射作用。

(2) 黄土高原生态系统服务价值模型计算 2000 年、2005 年及 2010 年的生态系统服务价值分别为 6 333.91 亿元、7 679.95 亿元及 9 390.46 亿元,从 2000—2010 年,增幅达 48%。2000—2005 年,黄土高原森林生态系统和草地生态系统服务价值增量约占服务价值总增量的 70%。2005—2010 年,生态系统服务价值总增量约有 40% 由草地贡献。在黄土高原各项生态系统服务功能中,保持土壤价值居首位,并且森林和草地提供了近 80% 的服务价值,因此黄土高原治理水土流失问题的关键在于保持和提高森林和草地的质量。

(3) 黄土高原各省的生态服务价值存在差异,社会经济和自然地理环境共同影响着生态系统服务价值。生态系统服务价值高的区域分布在山西、河南及陕西中部和南部,生态系统服务价值增速最快的是内蒙古自治区。宁夏回族自治区生态服务价值增加明显,青海、甘肃省服务价值低且无明显增加。因此,为了提高黄土高原的生态系统服务价值,应该综合各省的社会经济和自然地理环境,因地制宜的改善黄土高原的生态系统状况。

对生态系统服务价值评估方法进行修正时,考虑了空间异质性、社会发展状况及资源稀缺度,在选取指标时具有一定的主观性,缺乏对众多因素的比较评价,在接下来的工作中,希望在这方面做出进一步的研究。另一方面为了分析黄土高原生态系统服务价值与社会经济之间的相互影响机制,尝试利用敏感性分析^[21]、社会经济协调度分析^[9]等方法。

参考文献:

- [1] 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]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [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.
- [3] Duan H, Yan C, 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, Li S, Ouyang Z, 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] Du X, Huang Z. Ecological and environmental effects of land use change in rapid urbanization: The case of Hangzhou, China[J]. *Ecological Indicators*, 2017,81:243-251.
- [6] Costanza R, d'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1998,25(1):3-15.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 唐秀美,陈百明,路庆斌,等. 生态系统服务价值的生态区位修正方法[J]. *生态学报*,2010,30(13):3526-3535.
- [10] 宋佳楠,梅建屏,金晓斌,等. 基于协调系数修正的区域生态系统服务价值测算研究[J]. *地理与地理信息科学*,2010,26(1):86-89.
- [11] 曹银贵,白中科,景明,等. 土地利用变化对区域生态服务价值的影响研究[J]. *水土保持研究*,2013,20(6):256-261.
- [12] 潘耀忠,史培军,朱文泉,等. 中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量[J]. *地球科学*,2004,34(4):375-384.
- [13] 张晓楠,宋宏利,李振杰. 基于地统计学的区域生态服务价值空间分异规律研究[J]. *水土保持研究*,2012,19(6):168-171.
- [14] 胡喜生,洪伟,吴承祯. 土地生态系统服务价值动态估算模型的改进与应用:以福州市为例[J]. *资源科学*,2013,35(1):30-41.
- [15] 高海东,李占斌,李鹏,等. 基于土壤侵蚀控制度的黄土高原水土流失治理潜力研究[J]. *地理学报*,2015,70(9):1503-1515.
- [16] 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.
- [17] 姚文艺,李勉. 黄土高原土壤侵蚀及综合治理研究评述[J]. *中国水土保持*,2005(4):15-17.
- [18] 张,增祥. 中国土地覆盖遥感监测[M]. 北京:星球地图出版社,2010.
- [19] 毕晓丽,葛剑平. 基于 IGBP 土地覆盖类型的中国陆地生态系统服务功能价值评估[J]. *山地学报*,2004,22(1):48-53.
- [20] 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.
- [21] 姚成胜,刘耀彬. 福建省生态系统服务价值变化对土地利用变化驱动因子的敏感性分析[J]. *农业系统科学与综合研究*,2010,26(1):80-85.
- [22] 徐中民,龙爱华. 中国社会化水资源稀缺评价[J]. *地理学报*,2004,59(6):982-988.
- [23] 武文婷. 杭州市城市绿地生态服务功能价值评估研究[D]. 南京:南京林业大学,2011.