

宁夏回族自治区生态系统服务价值时空演变及其驱动力

程 静¹, 黄 越²

(1.宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021; 2.宁夏大学 科技处, 银川 750021)

摘 要:为了研究干旱半干旱地区土地利用变化及其 ESV 时空演变特征与驱动机制,基于 2009—2017 年研究区土地利用变更数据,采用土地利用动态度、ESV 评估模型、SPSS 以及空间自相关模型,定量分析了研究区 ESV 时空演化特征及其驱动因素。结果表明:(1)草地和耕地是研究区主要的土地利用类型,研究期间城镇村及工矿用地、交通运输用地面积动态度变化较大,其余各土地利用类型动态度变化度较小;(2)ESV 总价值逐年下降,由 2009 年的 902.58 亿元下降至 2017 年的 890.6 亿元,空间上呈现出中部高、南北低的分布格局,各单项服务价值均呈下降的变化趋势,而林地和水域面积的减少,是导致调节服务和支持服务减少的主要原因;(3)ESV 时空差异主要驱动因素为人口密度、城市化率以及人均 GDP 和境内外旅游收入;(4)空间相关性结果表明,ESV 变化率与城镇化率、人均 GDP 以及人口密度呈负相关关系,且高一高和低一高集聚主要集中在南部地区,而高一低集聚主要集中在北部地区。生态用地面积的减少是 ESV 下降的主要原因,因此,增加和维护生态用地,控制城镇用地扩张是提升研究区 ESV 的关键。

关键词:土地利用;生态系统服务;时空演变;驱动力;宁夏回族自治区

中图分类号:X171.1; F062

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)02-0382-08

Spatiotemporal Evolution of Ecosystem Services Value and Its Driving Forces in Ningxia Hui Autonomous Region

CHENG Jing¹, HUANG Yue²

(1.College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2.Department of Science and Technology, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to study land use changes in arid and semi-arid regions and their ecosystem services value (ESV) spatiotemporal evolution characteristics and driving mechanisms, based on the land use change data in the study area from 2009 to 2017, the dynamics of land use, ESV evaluation model, SPSS and spatial autocorrelation model were used to quantitatively analyzed the ESV spatiotemporal evolution characteristics and driving factors in the study area. The results show that: (1) grassland and cultivated land were the main land use types in the study area; during the study period, the dynamics of urban villages, industrial and mining land, and transportation land had changed greatly, while the dynamic changes of other land use types were small; (2) the total value of ESV had been declining year by year, which decreased from 90.258 billion yuan in 2009 to 89.06 billion yuan in 2017; the spatial distribution pattern of ESV was high in the middle and low in the north and south; the value of each individual service presented the downward trend; the decrease in water area was the main reason for the decrease in adjustment services and support services; (3) the main driving factors of temporal and spatial differences of ESV were population density, urbanization rate, per capita GDP and domestic and foreign tourism income; (4) the spatial correlation results indicated that ESV change rate was negatively correlated with urbanization rate, GDP per capita, and population density; high-high and low-high agglomerations mainly concentrated in the southern region, while high-low agglomeration mainly concentrated in the northern region. The reduction of ecological land area is the main reason for the decline in ESV. Therefore, increasing and maintaining ecological land and controlling the expansion of urban land are the keys to increasing ESV in the study area.

收稿日期:2020-04-20

修回日期:2020-05-07

资助项目:国家自然科学基金“宁夏限制开发生态区可持续生态经济社会规模的热力学多方法集成研究”(41761116)

第一作者:程静(1995—),女,宁夏西吉人,硕士,研究方向为生态经济与生态评估。E-mail:958830559@qq.com

通信作者:黄越(1988—),男,宁夏银川人,助教,主要从事人文地理与生态经济研究。E-mail:284921758@qq.com

Keywords: land use; ecosystem service; spatiotemporal evolution; driving force; Ningxia Hui Autonomous Region

生态系统服务是人类生存和发展的基础,是任何科学技术无法复制和替代的自然生态系统服务功能^[1-2],是通过生态系统结构、过程和功能直接或间接获取的包括实物型服务(水、食物、原材料等)和非实物型服务(气候调节、水土保持、美学景观等)在内的各种惠益^[3]。生态系统不仅创造和维持了人类必要的生存环境条件,而且为人类提供了生产生活资料以及休闲、娱乐和审美享受^[4]。对生态系统进行科学合理的量化评估,掌握生态系统服务功能时空演变特征,识别其驱动因素,探讨其驱动机制有利于生态系统的科学管理及其可持续发展^[5-6]。土地利用/覆被变化作为全球气候和环境变化的重要议题之一^[7-8],直接影响和改变着生态系统的结构、功能及其演变过程,最终导致生态系统服务价值(Ecosystem Service Value,简称 ESV)的改变^[9-10]。ESV 作为表征生态安全的重要指标,成为生态学、经济学以及地理学等相关学科的重要研究内容^[11]。Costanza 等^[12]首次对全球 ESV 进行了评估,提出了 ESV 评估模型,并实现了货币化表达,为相关研究奠定了基础。但同时也有学者提出,生态系统受社会经济系统、人类活动以及生态系统自生异质性特征的影响,不同区域采用同一套价值系数,其研究结果的准确性将会遭到质疑^[13-14]。因此,谢高地等^[15]基于 Costanza 等提出的评估模型,结合我国国情,提出了中国陆地生态系统单位面积 ESV 当量因子表,与现行的价值替代法、货币转化法和能值分析法以及 InVEST 模型、ARIES 模型和指标评价模型等 ESV 评价方法相比,该方法操作简单,数据需求小,评价全面且准确性高,被广泛地应用于区域 ESV 评估中。

宁夏回族自治区位于西北干旱半干旱过渡地带,是黄河上游重要的生态屏障区,由于其独特的地理位置以及长期不合理的人类活动,使得区域生态脆弱,退化显著,改变了区域生态系统格局,严重影响了其社会经济发展。宁夏生态问题不仅关乎自身及周边省区的发展,而且关乎西北地区乃至整个国家的发展和生态安全。ESV 取决于社会经济发展状况和自然地理要素分布特征,是量化和分析生态系统服务功能强弱、针对不同区域特征实施生态系统服务功能保护和利用的重要依据^[16-17]。目前,针对宁夏 ESV 的研究主要集中在县域^[17,18-20]、自然保护区^[21]、不同产业类型^[22]以及单一土地利用类型等^[22-26]方面,而仲俊涛^[27]和王重玲^[28]等则基于 ESV 对宁夏和隆德县区

域生态补偿进行了研究。上述研究为开展宁夏 ESV 研究提供了良好的参考与借鉴。然而上述研究仅对宁夏特定区域 ESV 进行了分析,缺乏其时空演变特征以及驱动因素的探讨,而针对宁夏全区 ESV 时空演变特征及其驱动因素的研究却鲜有报道。此外,现有研究多采用遥感数据进行分析研究,受数据分辨率和解译精度影响,研究结果可能存在一定误差。

因此本文以宁夏回族自治区为例,基用土地利用变更调查数据,集成土地利用动态度、ESV 评估模型、SPSS 以及空间自相关等方法,对研究区 ESV 时空演化过程、特征及其驱动因素进行定量研究,为进一步开展干旱半干旱地区生态系统科学管理、土地资源合理有效配置以及生态保护政策制定与实施提供科学依据。

1 研究区概况

宁夏回族自治区位于我国西北部,地处黄河上游地区,东与陕西省相邻,西部和北部与内蒙古自治区接壤,南部与甘肃省比邻,区域轮廓南北长、东西窄,地势南高北低,北部地形以平原为主,南部地形以丘陵、山地为主,区域总面积 6.64 万 km²。宁夏深居内陆,远离海洋,属于温带大陆性半湿润半干旱气候,年均气温为 6~10℃,年均降水量 220 mm 左右,平均海拔 1 000 m 以上,日照时数 3 200 h 以上。截至 2017 年,全区共辖 5 个地级市 22 个县(区)193 个乡(镇)以及 2 260 个村委会,总人口约为 681.79 万人,其中回族人口约占总人口的 36.31%,全区实现地区生产总值 3 443.56 亿元,其中第一、二、三产业结构比重依次为 7.3%,45.9%,46.8%。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究所用土地利用数据来源于宁夏土地利用变更调查数据,按照全国土地资源分类系统以及《土地利用现状调查技术规程》(1984 年)进行地类划分,并进行面积统计计算,包括林地、园地、耕地、草地、城镇村及工矿用地、交通用地、水域以及未利用地 8 种类型^[7]。本文采用的社会经济数据来源于《宁夏统计年鉴》。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用动态度 土地利用动态度反映了研究区单位时间内土地利用动态变化特征,是衡量土地

利用变化的重要指标^[29-30],计算公式为:

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

式中: K 为研究期间某一类土地利用动态变化度; U_a 、 U_b 分别为研究初期和研究末期的某一类土地利用面积; T 为研究时间。

2.2.2 生态系统服务价值系数修正 Costanza 等^[12]于 1997 年提出了 ESV 的计算原理和方法,但其运用于中国还存在一定的局限性,因此谢高地等^[15]对该模型加

以修正。本文对研究 ESV 当量因子进行系数修正,采用修正后的生态系统服务模型,结合研究区社会经济发展对研究区进行研究。2009—2017 年,宁夏地均粮食产量为 5 118.26 kg/hm²,粮食平均价格为 2.35 元/kg,考虑无人力投入时,ESV 是单位面积农田提供的食物生产经济价值的 1/7^[7,31],故得到宁夏农田粮食产量的经济价值为 1 718.27 元/hm²,依据谢高地等^[15]提出的中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表得到研究区生态系统服务价值系数见表 1。

表 1 宁夏不同土地利用类型 ESV 系数

一级分类	二级分类	耕地	湿地	林地	草地	水域	未利用地
调节服务	气体调节	859.14	3092.89	6013.95	1374.62	0.00	0.00
	气候调节	1529.26	29382.45	4639.33	1546.44	790.41	0.00
	水源涵养	1030.96	26633.22	5498.47	1374.62	35018.39	51.55
	废物处理	2817.97	31238.19	2250.94	2250.94	31238.19	17.18
供给服务	食物生产	1718.27	515.48	171.83	515.48	171.83	17.18
	原材料	171.83	120.28	4467.51	85.91	17.18	0.00
支持服务	生物多样性保护	1219.97	4295.68	5601.57	1872.92	4278.50	584.21
	土壤形成与保护	1993.20	2938.25	6701.26	3350.63	17.18	34.37
文化服务	娱乐文化	17.18	9536.41	2199.39	68.73	7457.30	17.18
合计		11357.78	107752.84	37544.24	12440.29	78988.97	721.67

2.2.3 生态系统服务价值评价模型 本文采用 Costanza 等提出的 ESV 评价模型,其计算公式如下,其中城镇村及工矿用地、交通用地不进行价值估算^[32-33]。

$$ESV=\sum_{i=1}^nA_i\times V_{ci} \tag{2}$$

$$ESV_f=\sum_{i=1}^nA_i\times V_{cfi} \tag{3}$$

式中:ESV 为研究区生态系统服务价值(元); A_i 为第 i 种土地利用类型面积(hm²); V_{ci} 为第 i 种土地利用类型生态系统服务价值当量(元/hm²); ESV_f 为第 f 项生态系统服务价值(元); V_{cfi} 为第 i 种土地利用类型第 f 项生态系统服务价值当量(元/hm²)。

2.2.4 驱动力分析 自然因素和人类活动的影响是生态系统结构和功能改变的主要驱动因素,进而导致 ESV 发生变化^[34-35]。参考相关研究^[6,16,36],ESV 在短时间内主要受人类活动的影响。因此,本研究选取总人口、城镇人口、农村人口、人口密度和城镇化率 5 项人口指标,GDP、人均 GDP、第一、第二和第三产业总产值、农业、工业、林业、牧业和渔业总产值 10 项经济指标和旅游接待总人数和境内外旅游收入总额 2 项旅游指标对宁夏 ESV 时空变化的驱动力进行分析,而后使用 SPSS 进行主成分分析和相关性分析,选取对 ESV 变化影响较大的驱动因素进行多元线性回归分析,以此得到研究区 ESV 变化的主要

驱动因素。

2.2.5 空间自相关分析 根据驱动因素分析结果选取人口密度、城市化率以及人均 GDP 这 3 个指标进行空间自相关分析,其计算公式为:

$$I=\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\overline{x})\sum_{j\neq1}^nw_{ij}(x_j-\overline{x})}{S^2\sum_{i=1}^n\sum_{i=1}^nw_{ij}} \tag{4}$$

$$S^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n(x-\overline{x})^2 \tag{5}$$

$$LISA=\frac{(x_i-\overline{x})}{\sum_i(x_i-\overline{x})^2/n}\sum_jw_{ij}(x_j-\overline{x}) \quad (i\neq j) \tag{6}$$

式中: x_i 和 x_j 为变量 x 在邻近单元上的取值; x 为 n 个位置变量的属性值; \overline{x} 为空间变量属性值平均值; w_{ij} 为变量 x 的空间权重。当 $LISA>0$ 表明该局部空间单元内存在空间集聚; $LISA<0$ 则表明该局部空间内存在非相似值的空间集聚。

3 结果与分析

3.1 宁夏土地利用变化分析

研究期间,宁夏不同土地利用类型中草地和耕地面积最大(图 1),分别占总面积的 40%,24%以上,不同土地利用面积大小依次为草地>耕地>林地>未利用地>城镇村及工矿用地>水域>交通运输用

地>园地。从各类土地利用变化来看,研究期间宁夏各类土地利用面积发生较大变化。城镇村及工矿用地、交通运输用地和耕地面积呈增加趋势,其中城镇村及工矿用地面积增加最快,其次是交通用地,而耕地面积增长最慢,研究期间 3 类土地利用类型面积分别增加 45 817.02,13 106.5,1 867.91 hm²。而草地、

林地、园地、水域以及未利用地面积逐年减少,其中草地面积减少量最大,为 36 339.29 hm²,水域面积减少量最小,仅为 1 827.95 hm²。从变化率与动态度来看(图 2),变化幅度最大的是城镇村及工矿用地和交通用地,其次是园地、未利用地、草地、水域和林地,而耕地变化幅度最小。

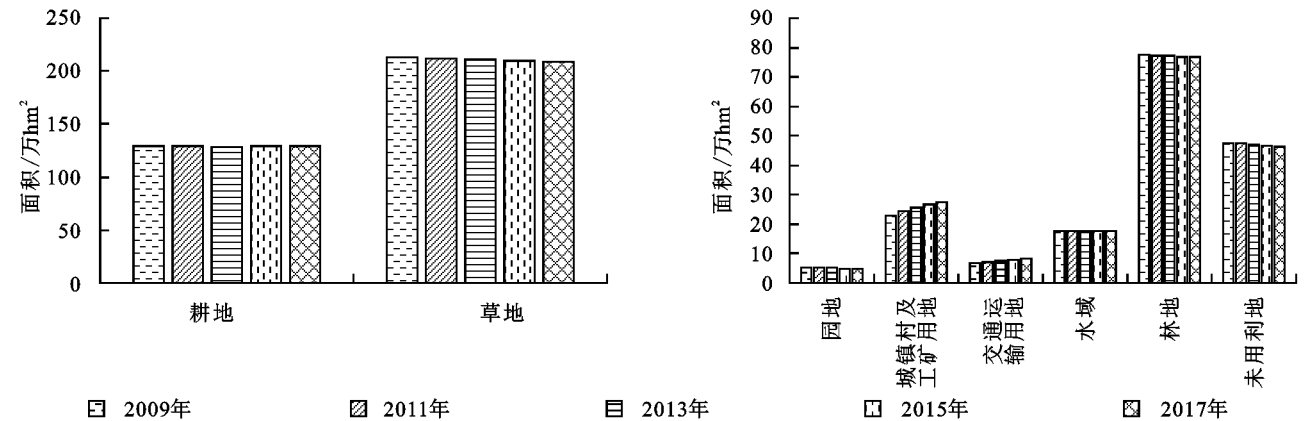


图 1 宁夏 2009—2017 年土地利用变化

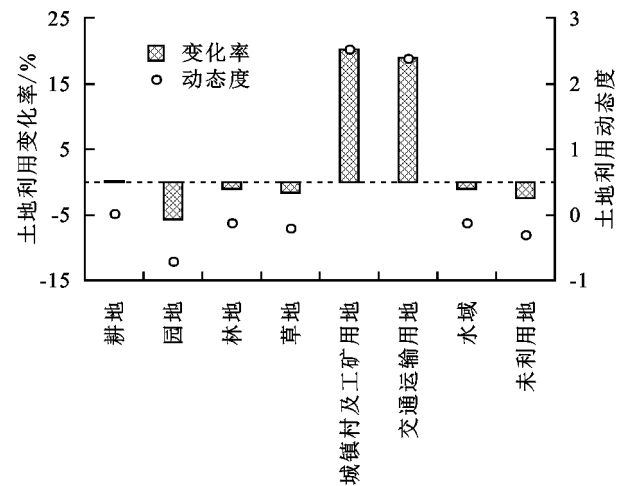


图 2 宁夏不同土地利用类型变化率及动态度

3.2 宁夏 ESV 变化分析

本文基于宁夏修正后的单位面积生态系统服务价值系数与土地利用变更数据,估算得到 2009—2017 年宁夏 ESV(图 3)。由图 3 可知,研究期间宁夏

ESV 呈显著逐年下降的变化趋势,由 2009 年的 902.58 亿元下降至 2017 年的 890.6 亿元,累计下降 11.98 亿元,变化率为-1.33%。不同土地利用类型 ESV 变化中,耕地 ESV 呈现上升趋势,累计增加 0.21 亿元,而其余各类土地利用 ESV 均出现下降变化,其中下降最为显著的是草地,共下降 4.52 亿元,其次是园地和林地,分别为 3.24,2.92 亿元,而水域和未利用地下降最少,分别仅占总减少量的 12.02%,0.75%。究其原因主要是研究期间宁夏社会经济的高速发展、城市化进程的加快,致使城镇村及工矿用地和交通用地等建设用地面积不断扩张,导致草地、园地以及林地等面积逐年下降。研究期间耕地所提供的生态系统服务价值虽有所增加,但其单位面积生态价值系数远低于园地、林地、水域以及草地的生态价值系数,且园地和林地等面积减少量远大于耕地面积的增加量,使得宁夏 ESV 整体上呈现下降趋势。

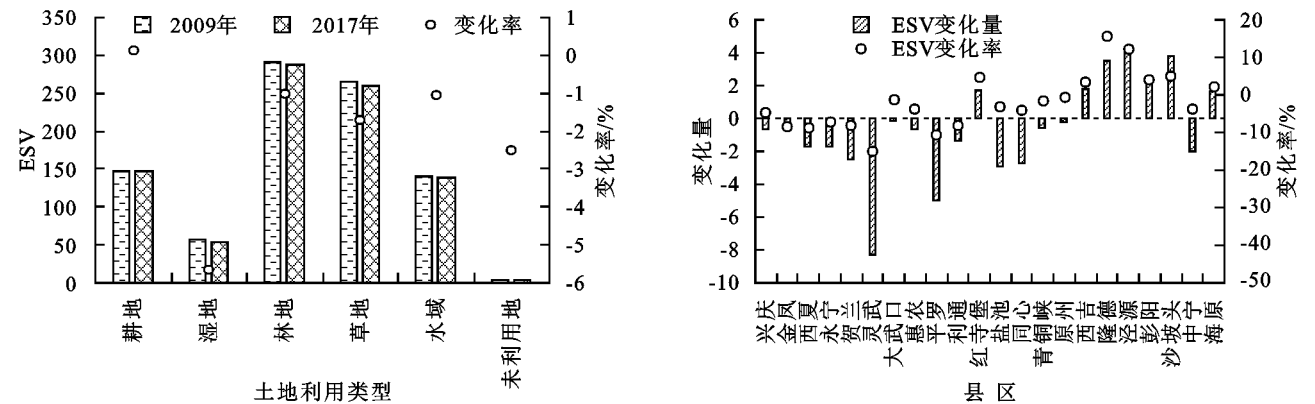


图 3 2009—2017 年宁夏、各县区 ESV 变化

由图 4 可知,不同地区 ESV 存在显著差异性。研究始末盐池 ESV 最高,分别为 99.43 亿元,96.47 亿元,其贡献率为 10.83%~11.02%,其次是海原、沙坡头、同心、

彭阳、中宁、灵武、西吉、原州和平罗,上述地区的 ESV 占全区 ESV 的 5%~10%;而其余各县区 ESV 值均不足全区 ESV 的 5%,对宁夏 ESV 的贡献率较低。

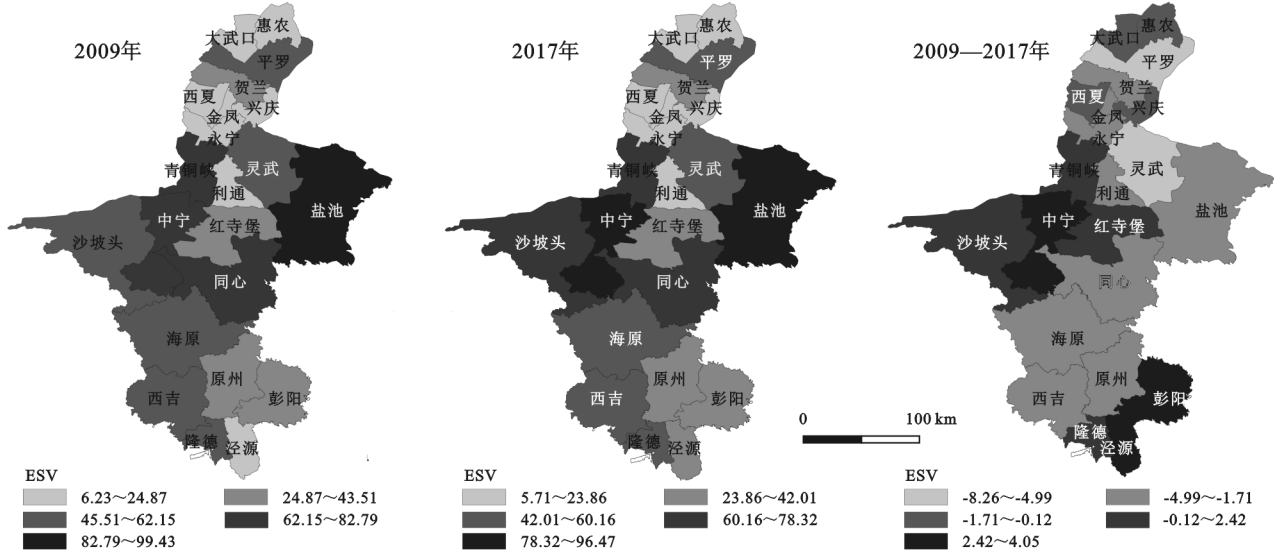


图 4 宁夏 ESV 空间分异

从各县区 ESV 变化来看,2009—2017 年红寺堡、西吉、隆德、泾源、彭阳、海原和沙坡头 ESV 呈现上升趋势,且各县区增长幅度存在显著差异,其中隆德和泾源变化率最大,分别为 15.49%,12.07%。主要是隆德和泾源县位于六盘山国家森林公园保护区东西两侧,为开发建设森林公园,当地政府积极进行土地整治和植被恢复建设,提高生态环境质量,截至 2017 年当地森林覆盖度高达 80% 以上,此外两县境内河流水系分布较广,而林地和水域面积的增加是区域 ESV 变化显著的主要原因之一。除上述地区 ESV 上升外,其余各地区 ESV 均呈下降变化趋势,其中灵武和平罗生态系统服务价值变化率较大,分别为 -14.95%, -10.58%,其他各县区 ESV 下降速度均介于 -10%~0%,主要是研究期间灵武和平罗社会经济快速发展,特别是第二产业的快速发展,使得工业化、城市化水平不断提高,城镇村与工矿用地面积增加显著,而生态用地面积与水域面积呈现下降趋势,因此区域 ESV 下降较为明显。

3.3 宁夏生态系统单项服务价值变化分析

通过宁夏生态系统服务价值系数与 2009—2017 年土地利用变化数据计算得到宁夏生态系统单项服务价值(图 5)。由图 5 可知,研究期间宁夏生态系统各单项服务价值均呈现出下降的变化趋势,其中废物处理减少量最大,累计下降 2.46 亿元;其次是水源涵养服务,其单项服务价值由 2009 年的 161.61 亿元下降至 2017 年的 159.25 亿元,累计下降 2.36 亿元;而减少量最小的是食物生产服务,约减少 0.19 亿元。而研究区林

地和水域面积的不断减少,是导致调节服务和支持服务减少的主要原因,其中气体调节下降 1.05 亿元,气候调节下降 1.79 亿元,生物多样性保护下降 1.38 亿元,土壤形成与保护服务价值下降 1.8 亿元。从单项服务贡献率来看,废物处理、水源涵养和土壤形成与保护的贡献率较高,均在 15% 以上;其次是生物多样性保护与气候调节,贡献率介于 10%~15%,而其余各单项服务价值贡献率均不高于 10%。

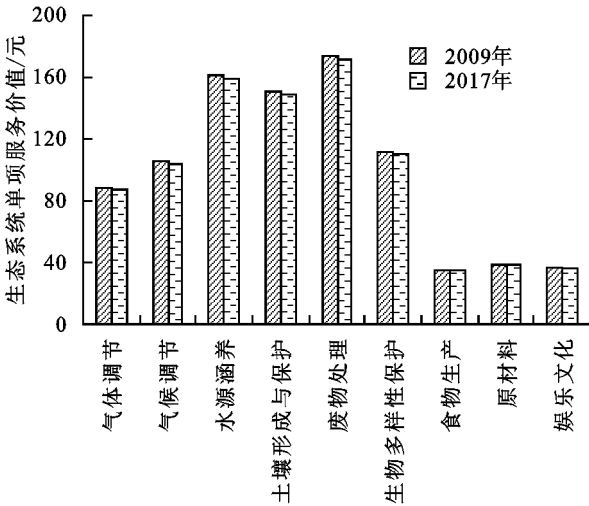


图 5 宁夏生态系统单项服务价值变化

3.4 宁夏 ESV 时空变化驱动力分析

采用 SPSS 对驱动力指标进行主成分分析和相关性分析后选取人口、经济和旅游 3 个维度的 9 项驱动因素进行多元线性回归分析,得到生态系统服务价值与驱动因素之间的线性回归方程,拟合度大于 0.99,具有极好的拟合效果。

$$Y=-0.756X_1+3.458X_2-1.067X_3-1.359X_4+3659.06$$

(7)

式中:Y 为生态系统服务价值(亿元); X_1 为人口密度(人/ km^2); X_2 为境内外旅游收入总额(亿元); X_3 为城市化率(%); X_4 为人均 GDP(元)。

通过多元线性回归分析可以发现,研究期间宁夏 ESV 时空变化主要受以上 4 个因素的影响。依据回归方程的相关系数可知,人口密度、城市化率以及人均 GDP 越低,境内外旅游收入总额越高,区域 ESV 就越高,反之,ESV 则越低。主要是因为人口密度、城镇化人口的增加以及社会经济的快速发展导致区域经济结构以及生态结构发生改变,从而改变区域生态系统结构和功能,进而影响区域 ESV。

3.5 宁夏 ESV 与社会经济因素空间相关性分析

依据多元线性回归分析结果,对人口、社会和经济指标与 ESV 变化进行空间自相关分析发现,研究

期间,宁夏 ESV 变化与城镇化率、人均 GDP 以及人口密度的 Moran's I 指数分别为-0.549,-0.428,-0.383,且均呈现出显著负相关关系($p<0.05$)。从图 6 中可以看出,研究期间人口密度、城镇化率以及人均 GDP 与研究区 ESV 的局部相关性具有高度一致性,此外从空间相关性分析来看,空间相关性分析均达到显著性水平,表明所选的 3 个因素与研究区 ESV 变化率的局部空间相关显著性良好。从局部空间自相关分布来看,人口密度与 ESV 变化率中高—低型主要分布在北部的银川市 3 区和平罗以及中部的红寺堡地区,而高一高型主要分布在南部的原州、西吉、隆德和泾源地区。而城镇化率和人均 GDP 变化率与 ESV 变化率中不同空间集聚类型分布具有高度一致性,低—高型主要分布在南部的原州、西吉、隆德和泾源地区,高一低型主要分布在北部的银川市 3 区和平罗地区,而低—低型则分布在中部的红寺堡地区。

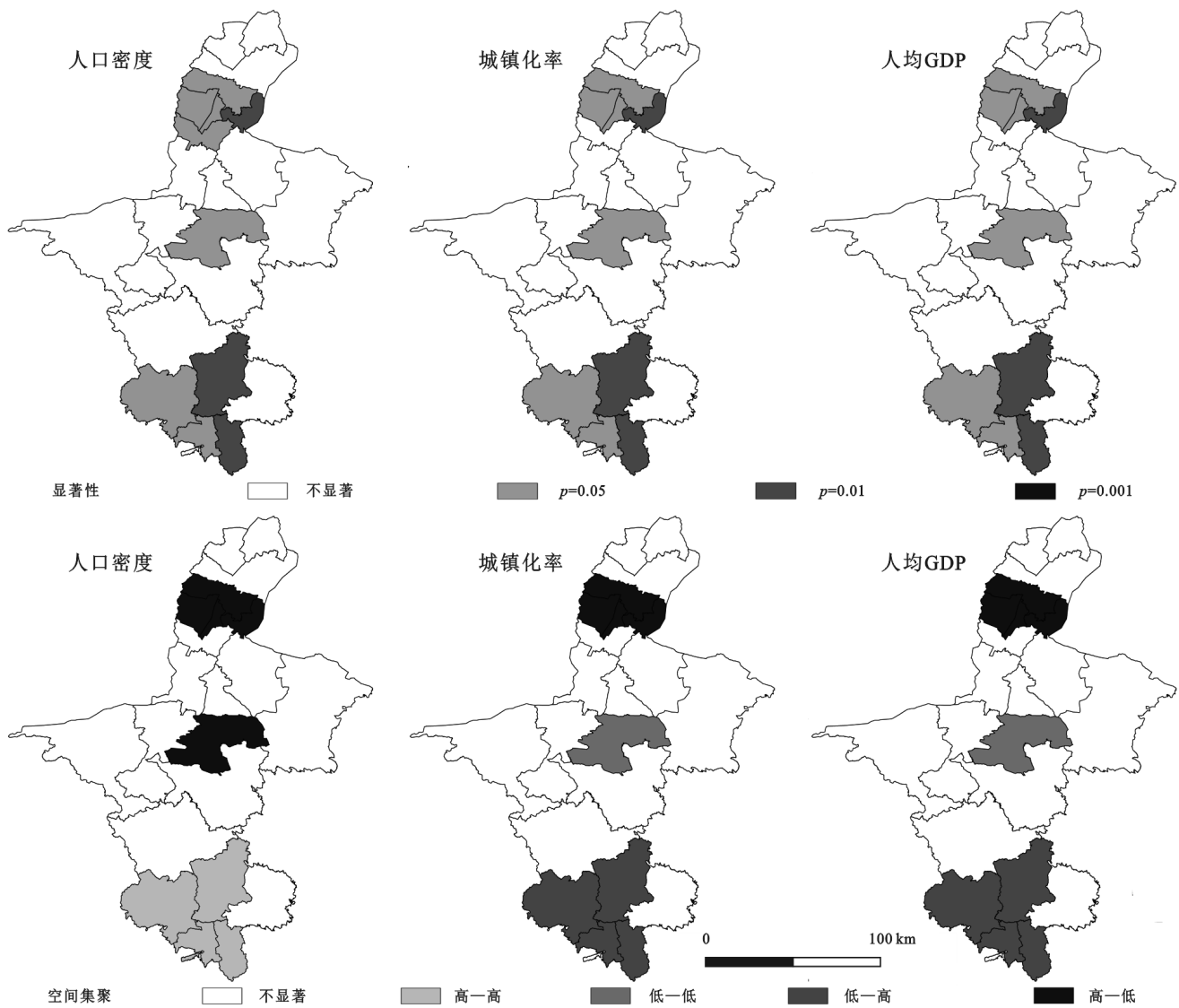


图 6 宁夏社会经济因素与 ESV 空间相关性集聚

4 讨论与结论

草地和耕地是宁夏主要的土地利用类型,研究期间城镇村及工矿用地、交通运输用地和耕地面积呈增加趋势,分别增加 45 817.02, 13 106.5, 1 867.91 hm^2 , 而草地、林地、园地、水域以及未利用地面积逐年减少,共减少 6.08 万 hm^2 。宁夏 ESV 呈逐年下降趋势,研究期间累计减少 11.98 亿元,空间上呈现出中部高、南北低的分布格局,各单项服务价值均呈下降的变化趋势,而林地和水域面积的减少,是导致调节服务和支持服务减少的主要原因。利用线性回归方程分析其 ESV 驱动因素发现,人口密度、城市化率以及人均 GDP 和境内外旅游收入总额是影响宁夏 ESV 时空差异的主要驱动因素。空间自相关分析结果表明,宁夏 ESV 变化率与城镇化率、人均 GDP 以及人口密度呈负相关关系。人口密度与 ESV 变化率高一低型主要分布在北部和中部地区,而高一高型主要分布在南部地区。城镇化率和人均 GDP 变化率与 ESV 变化率的不同空间集聚类型分布具有高度一致性,低一高型主要分布在南部地区,高一低型主要分布在北部地区,而低一低型则分布在中部地区。

谢高地等根据我国实际提出了中国陆地生态系统服务价值当量表,为我国 ESV 评价奠定了基础。依据中国陆地生态系统服务价值当量因子表,结合宁夏社会发展状况进行价值系数修订,采用 Costanza 等提出的 ESV 评估模型对宁夏 ESV 进行评估,该方法操作简单,数据量要求少,且表达直观,适用于区域 ESV 评价。近年来,有关于宁夏地区 ESV 的研究均采用此方法进行评估,说明采用该方法对于宁夏地区 ESV 进行评估较为合理,研究结果可靠、准确,较好地反映了宁夏 ESV 的时空动态变化特征。此外,对驱动因素进行相关性和主成分分析,选取相关性显著的 9 项进行多元回归分析,得到拟合度高的 ESV 多元回归方程,并对主要驱动因素进行空间自相关分析,探讨了主要驱动因素对研究区 ESV 变化的空间分布特征,对于研究区可持续发展和生态系统管理具有重要指导意义。

人类活动改变着区域生态系统结构和功能,进而导致生态系统脆弱性增加,生态系统服务功能下降。研究期间,宁夏城镇村及工矿用地以及交通过地快速扩张,占用了大量的草地、林地、园地等,致使区域 ESV 呈下降趋势,不仅不利于生态系统稳定性和生态效益的提高,而且无法发挥重点生态功能区的作

用,严重威胁着宁夏社会—经济—生态的可持续协调发展。因此在今后的发展中,宁夏应当优化调整土地利用结构,合理控制城镇村及工矿用地以及交通过地的规模及其扩张态势,并重视保护生态用地面积,减少人类活动在生态系统演变中的作用,保护并增强生态系统的自然演变过程,增强生态系统的稳定性,提高生态系统服务功能,促进社会经济的持续健康发展。

随着 ESV 评价研究的不断深入,研究方法的不断更新,特别是“3S”技术的应用为 ESV 评价提供了新的视角和技术手段,但目前尚未构建一套完善的评估体系,不同的 ESV 评估方法,在计算模型、分类依据、参数选择等方面存在较大差异,其评估结果往往不同。本研究基于谢高地等的研究成果,综合评价了研究区 ESV 时空演变特征及其驱动机制,该方法虽以价值货币量的形式计算 ESV,但与研究区生态系统所具有的实际服务价值并不完全等同,存在一定误差,还需要通过更多的野外实际工作来验证,在今后的研究中应进一步探索出更加符合研究区特性的土地利用生态系统服务价值单价表,进行定量化分析,从而提高研究结果的精度。

参考文献:

- [1] 傅伯杰,于丹丹,吕楠.中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系[J].生态学报,2017,37(2):341-348.
- [2] 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.
- [3] Zhao S D, Zhang Y M. Ecosystems and human well-being: The achievements, contributions and prospects of the millennium ecosystem assessment [J]. Advances in Earth Science, 2006,32(1):1178-1183.
- [4] 李双成,谢爱丽,吕春艳,等.土地生态系统服务研究进展及趋势展望[J].中国土地科学,2018,32(12):82-89.
- [5] 潘鹤思,李英,陈振环.森林生态系统服务价值评估方法研究综述及展望[J].干旱区资源与环境,2018,32(6):72-78.
- [6] 韩蕊,孙思琦,郭沛,等.川东地区生态系统服务价值时空演变及其驱动力分析[J].生态与农村环境学报,2019,35(9):1136-1143.
- [7] 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.
- [8] 王鹏,王亚娟,刘小鹏,等.基于 PSR 模型的青铜峡市土地生态安全评价与预测[J].水土保持通报,2018,38(2):148-153.
- [9] 江凌,肖磊,饶恩明,等.内蒙古土地利用变化对生态系

- 统防风固沙功能的影响[J].生态学报,2016,36(12):3734-3747.
- [10] 李屹峰,罗跃初,刘纲,等.土地利用变化对生态系统服务功能的影响:以密云水库流域为例[J].生态学报,2013,33(3):726-736.
- [11] 黄木易,岳文泽,方斌,等.1970—2015年大别山区生态系统服务价值尺度响应特征及地理探测机制[J].地理学报,2019,74(9):1904-1920.
- [12] Costanza R, de Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 26:152-158.
- [13] 高江波,左丽媛,王欢.喀斯特峰丛洼地生态系统服务空间权衡度及其分异特征[J].生态学报,2019,39(21):7829-7839.
- [14] 王晓峰,马雪,冯晓明,等.重点脆弱生态区生态系统服务权衡与协同关系时空特征[J].生态学报,2019,39(20):7344-7355.
- [15] 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.
- [16] 徐媛银,郭添,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(6):1969-1978.
- [17] 王鹏,刘小鹏,王亚娟,等.黄土丘陵沟壑区生态移民过程及其生态系统服务价值评价:以宁夏海原县为例[J].干旱区地理,2019,42(2):433-443.
- [18] 杨越,哈斯,杜会石,等.基于RS和GIS的宁夏盐池县土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2014,21(5):100-105.
- [19] 宋振威,孙美莹,杨荣金,等.宁夏贺兰山东麓葡萄产业生态系统服务功能价值评估[J].应用生态学报,2019,30(3):979-985.
- [20] 岳耀杰,闫维娜,王秀红,等.区域生态退耕对生态系统服务价值的影响:以宁夏盐池为例[J].干旱区资源与环境,2014,28(2):60-67.
- [21] 丛日征,王兵,谷建才,等.宁夏贺兰山国家级自然保护区森林生态系统服务价值评估[J].干旱区资源与环境,2017,31(11):136-140.
- [22] 皮泓漪,夏建新.生态功能区县域生态资产价值评估[J].林业经济问题,2019,39(1):83-90.
- [23] 刘胜涛,牛香,王兵,等.宁夏贺兰山自然保护区森林生态系统净化大气环境功能[J].生态学杂志,2019,38(2):420-426.
- [24] 卜晓燕,米文宝,许浩,等.基于多源数据融合的宁夏平原不同湿地类型生态服务功能价值评估[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2016,42(2):228-244.
- [25] 魏冬,杨阳,倪细炉,等.区域森林生态系统服务功能评估:以宁夏回族自治区为例[J].西北林学院学报,2018,33(3):278-284.
- [26] 王亚慧,王文瑞,王伟伟.中小尺度荒漠生态系统服务研究及其价值评价:以宁夏沙坡头保护区为例[J].宁夏大学学报:自然科学版,2016,37(1):106-111.
- [27] 仲俊涛,米文宝.基于生态系统服务价值的宁夏区域生态补偿研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(10):19-24.
- [28] 王重玲,朱志玲,王梅梅,等.基于生态服务价值的宁夏隆德县生态补偿研究[J].水土保持研究,2014,21(1):208-212.
- [29] 刘亚茹,王聪,严力蛟.华北平原农区土地利用变化对生态系统服务的影响:以河南省商丘市为例[J].应用生态学报,2018,29(5):1597-1606.
- [30] 王鹏,王亚娟,刘小鹏,等.基于RS与GIS的沙坡头区生态系统服务价值研究[J].水土保持研究,2018,25(4):250-256.
- [31] Liu X P, Chen X, Hua K P, et al. Effects of land use change on ecosystem services in Arid Area Ecological Migration[J]. *Chinese Geographical Science*, 2018, 28(5):894-906.
- [32] 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.
- [33] 陈万旭,李江风,朱丽君.长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析[J].自然资源学报,2019,34(2):325-337.
- [34] 朱治州,钟业喜.长江三角洲城市群土地利用及其生态系统服务价值时空演变研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(7):1520-1530.
- [35] 戴文远,江方奇,黄万里,等.基于“三生空间”的土地利用功能转型及生态服务价值研究:以福州新区为例[J].自然资源学报,2018,33(12):2098-2109.
- [36] 姚成胜,朱鹤健,吕晞,等.土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响[J].自然资源学报,2009,24(2):225-233.