

陕西关中地区土地生态价值时空动态

莫宏伟,全 斌,袁开国,谢金宁,向云波

(湖南科技大学资源环境与安全工程学院,湖南 湘潭 411201)

摘 要:为探明土地生态系统服务价值的空间差异性,以关中地区遥感影像、气象气候、土壤植被及地形地貌数据为依据,借助网格插值技术和土壤潜力测算模型获取土壤潜力栅格图,运用土地利用栅格图及生态系统服务价值当量因子加权,生成土地生态系统服务价值栅格图;从而在栅格尺度上揭示土地生态系统服务价值的空间异质性。结果表明:1986—2007 年间,关中地区土地生态系统服务价值总量由 509.61 亿元增加到 561.02 亿元,增幅约为 10.09%,2000—2007 年段增速约为 1986—2000 年段的 33.65 倍;周边山地和黄土梁峁区生态价值增加,增量最大的为周至县;中部平原区的生态价值量减少,减量最大的是西安市区;研究期内的土地利用结构调整取得了较明显的生态效益。

关键词: 关中地区;GIS;土地生态价值;空间异质性

中图分类号: S181 **文献标志码:** A

The temporal-spatial dynamic of land ecosystem services value in Guanzhong, Shaanxi

MO Hong-wei, QUAN Bin, YUAN Kai-guo, XIE Jin-ning, XIANG Yun-bo

(College of Resource Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China)

Abstract: On the basis of Costanza's method and expert interviews with structured questionnaire answered by 700 Chinese ecologists, a new method for assessment of ecosystem services was developed, but spatial heterogeneity issue of land ecosystem services value (ESV) assessment is still an open question. Based on remote sensing images, climate data, soil data and DEM data, according to the theory of geographic information images and supported by RS, GIS, and land-use map, soil potential map and equivalent value per unit area of ecosystem services in China to obtain map of land ESV, the spatial heterogeneity issue of land ESV assessment was solved at the grid scale. This method consists of a major flaw of land ESV assessment relying on equivalent factor. After that, the authors analyzed temporal-spatial changes of land ESV in different scales such as grid units, terrain units, and administrative units of Guanzhong area from 1986 to 2007. The results showed that the total ecosystem service value (ESV) of Guanzhong area increased from 50.96 billion yuan in 1986 to 56.10 billion yuan in 2007, increased by 10.09%. The growth rate of the total ESV in 2000—2007 was 33.65 times higher than that in 1986—2000. Among all counties, there were 11 counties whose total ESV increased. Among five geomorphologic units of Guanzhong, the total ESV of plain reduced and the total ESV of the other four geomorphologic units increased, in which both the largest increment and the fastest growing took place in mountains. Adjusting land use structure in the research period has made obvious ecological benefits, providing a good environment platform for economic construction and social development of Guanzhong area.

Keywords: Guanzhong area; GIS; land ecosystem services value; spatial heterogeneity

土地生态系统服务是指人类从土地生态系统获得的所有惠益,包括供给服务、调节服务、文化服务、支持服务。大多数土地生态系统服务是公共品或准公共品,具有外部经济性,无法进入市场,甚至在市场交易中很难发现对应的补偿措施^[1]。土地生态系

统服务价值研究有利于制定合理的土地生态资源价格,促进环境损益进入国民经济核算体系,为土地生态建设与保护找到合理的资金来源,达到利用经济手段保障土地资源的可持续利用的目的。自 1997 年 Costanza 在《nature》杂志发表了“全球生态系统服

务价值和自然资本”一文以来^[2],李金昌^[3]、欧阳志云^[4]、陈仲新^[5]、肖寒^[6]、赵景柱^[7]、姜文来^[8]、傅伯杰^[9]等众多学者从多个角度在该领域做了许多建设性的工作;其中,谢高地等在全球生态系统服务功能评价模型的基础上,总结了气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、食物生产、原材料生产、休闲娱乐在内的 9 项生态系统服务功能,并对我国 700 位生态学者进行问卷调查,得到了“中国生态系统服务价值当量因子表”^[10-13];从而把不同生态系统之间的生态价值当量区别开来,但同类型生态系统价值的空间异质性问题仍需更多研究案例来推进。关中地区是中国西部经济文化中心,涵盖高原、盆地、山地等多个地形区,退耕还林、城市化等全局性的土地利用变化在本区均有典型体现;随着西部开发进程提速,区内环境、经济、人口压力加大,区域土地生态系统的结构和功能变化加剧;深入研究土地生态系统服务价值的空间异质性,有利于利用经济手段精准优化土地利用结构,达到土地资源经济和生态双赢的利用效果,从而为保障区域土地资源可持续利用提供决策支持。

1 研究区概况

关中地区位于北纬 33°34′~35°52′和东经 106°18′~110°38′之间,东西长约 360 km,南北宽约 170 km,总面积约 5.56 万 km²;辖西安、咸阳、宝鸡、渭南、铜川五个地级市和杨陵区;东部与河南、山西相邻,西部与甘肃省接壤,南部是汉中、安康及商洛市,北部为延安市;研究区中部地势低平,南北及西面地势较高,有黄土梁峁、黄土台塬、黄土塬、平原、山地等五种地貌类型,其面积分别占全区总面积的 6.03%、18.54%、11.91%、20.99%、42.53%;关中地区地貌类型及行政区划见图 1。本区属大陆性季风气候,处于暖温带半湿润与半干旱气候的过渡地带,冬冷夏热、四季分明、降水集中、雨热同季、易发生干旱;年平均气温为 9.9℃~15.8℃,多年平均降雨量 500~700 mm,多年平均蒸发量 1 000~1 200 mm。

2 数据来源及研究方法

以遥感影像、气象、土壤及 DEM 数据为依据,以

$$Y = \frac{\epsilon \times (1 - \alpha) \times (1 - \beta) \times (1 - \gamma) \times (1 - \omega) \times (1 - \rho) \times \psi \times \sum Q}{h \times (1 - CA) \times (1 - CM)} \tag{1}$$

式中, Y 为光合潜力(g·cm⁻²);ε 为光合有效辐射(0.45~0.55);α 为植物叶面反射率;β 为漏射率;γ 为光饱和和限制率;ω 为植物呼吸作用损耗率(约为

ERDAS9.2 和 ARCGIS9.2 作为数据处理平台,分别获取关中地区土地栅格图、各地类单位生产力价值量栅格图、土壤潜力栅格图,通过地图运算得到土地生态系统服务价值栅格图,从而把土地生态系统服务价值细化到栅格单元上,初步解决了土地生态系统服务价值评价的空间异质性问题,各类栅格图获取的具体方法如下:

关中地区土地栅格图是以 1986、2000 年及 2007 年的三期 TM 影像作为基本信息源,采用土地利用二级分类方法,通过计算机解译和人工目视解译相结合的方式获取。首先利用 1:5 万地形图对三期 TM 影像作几何精校正,采用回归分析法并利用 DEM 对影像做辐射校正,把校正后的影像转换成 Albers 投影;进行图像增强处理后,根据影像特征及野外考察数据建立解译标志,运用非监督和监督分类相结合的办法对影像进行分类,并对分类结果作后处理,最后将土地利用类型归并为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地;再以野外 GPS 定位考察点资料对分类结果进行精度检验和修改,最终得到关中地区三期土地利用现状图;再依据谢高地等^[12]2007 年编制的新版中国生态系统服务价值当量因子表,并参照陕西省粮食局 2009 年的粮食价格(1.60 元/kg),计算出关中地区耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地单位生产潜力价值分别为 1 600、5 695、2 364、9 185、0、282 元·t⁻¹,此后依据土地利用类型图,生成各地类单位生产力生态价值量栅格图。

关中地区土壤潜力分布图是以气象数据、土壤数据、DEM 数据为依据,先将研究区 43 个气象站点各月的辐射、海平面平均气温、降水量、蒸发量近 30 年的均值进行 Kriging 内插,获取各气候因子 1—12 月 30 m×30 m 的栅格数据;然后利用 30 m×30 m DEM 对月平均气温作高程矫正,获取实际地形气温分布图;再依据温度、水分及土壤肥力订正系数模型获取关中地区土地生产潜力各月的温度、水分及肥力订正系数分布图;最后依据光温阶乘模型得出各月土壤潜力图^[14],再合成研究区年度土壤潜力栅格图(见图 2);具体测算模型如下:

(1) 光合生产潜力^[15-17]

30%);ρ 为植物非光合器官的无效吸收,约占光合有效辐射的 10%;ψ 为量子效率(约为 22.4%);h 为

单位干物质发热量($J \cdot g^{-1}$); $\sum Q$ 为各月太阳总辐射; CA 为植物体的灰分含量(约为 5%); CM 为植物体的含水率(约为 14%)。

(2) 光温生产潜力^[19-20]

$$Y_t = Y \times f(t) \tag{2}$$

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ t/20 & 0 \leq t \leq 20 \\ 1 & t > 20 \end{cases} \tag{3}$$

式中, Y_t 为光温潜力; $f(t)$ 为温度订正系数; t 为月平均气温($^{\circ}C$)。

(3) 气候生产潜力^[21-23]

$$Y_w = Y_t \times f(w) \tag{4}$$

$$f(w) = \begin{cases} \frac{R}{E_0} & R < E_0 \\ 1 & R \geq E_0 \end{cases} \tag{5}$$

$$E_0 = 0.0018 \times (t + 25)^2 \times (100 - f) \tag{6}$$

式中, Y_w 为气候潜力; $f(w)$ 为水分订正系数; R 为月降水量; E_0 为月蒸发量(mm); t 为月平均气温($^{\circ}C$); f 为月相对湿度(%)。

(4) 土壤生产潜力^[20,24]

$$Y_s = Y_w \times f(s) = Y_w \times U \times O \tag{7}$$

$$U = \begin{cases} 1 & N \geq 90 \cap P \geq 10 \cap K \geq 150 \\ \left(\frac{N}{90} + \frac{P}{10} + \frac{K}{150} \right) \div 3 & N < 90 \cup P < 10 \cup K < 150 \end{cases} \tag{8}$$

$$O = \begin{cases} 1 & M \geq 30 \\ 0.5 + \frac{M}{60} & M < 30 \end{cases} \tag{9}$$

式中, Y_s 为土壤潜力; $f(s)$ 为土壤肥力订正系数; O 为土壤有机质订正系数; U 为土壤中氮磷钾等养分含量订正系数; N 、 P 、 K 分别为土壤中的碱解氮、速效磷和速效钾含量($mg \cdot kg^{-1}$); M 为土壤有机质含量($g \cdot kg^{-1}$)。

将土壤潜力栅格图与各地类单位生产力生态价值量栅格图作地图乘运算, 可得关中地区 1986、2000、2007 年土地生态系统服务价值分布图, 再做差运算可得土地生态系统服务价值变化图谱(见图 2), 此后依据关中地区土地利用类型图、地貌分区图、行政区划图对其进行分区统计可得相应的生态系统服务价值分区统计表。

3 土地生态系统服务价值动态

3.1 土地生态系统服务价值总量构成变化分析

由表 1 可知: 1986—2007 年, 关中地区土地生态系统服务价值总量增加了 51.41×10^8 元, 年度递增

率为 0.46%; 其中 1986—2000 年段和 2000—2007 年段年度递增率分别为 0.04%、1.30%, 后时段增速约为前时段的 33.65 倍。耕地、林地、草地、水域、未利用地的生态系统服务价值量占全区总价值量百分比在 1986 年为 27.55%、50.57%、17.59%、4.27%、0.02%, 2000 年为 25.44%、53.20%、17.33%、4.01%、0.02%, 2007 年为 22.96%、56.32%、17.30%、3.40%、0.02%; 林地生态系统服务价值量占比超过全区总量的一半, 而且占比呈增加趋势, 其它生态系统服务价值量占全区总生态价值量百分比下降, 其中占比降幅最大的是耕地。综上可知: 1986—2007 年间, 关中地区林地生态系统服务价值量持续增加, 草地生态系统服务价值量是先减后增、总体增加, 其它生态系统服务价值量基本是持续减少的。研究区土地生态系统服务价值总量增加主要是林地面积增加、质量改善的结果, 这一结果又直接受惠于“退耕还林”政策的实施; 当然, 经济情况改善、人口向城镇流动等因素引起的农村燃料结构的改变为林草植被的自然恢复创造了条件, 促进了区域生态环境的良性发展, 增强了区域土地生态系统的安全性; 不过, 作为本区粮食基本保障的耕地生态系统服务价值不仅总量在快速减少, 而且单位面积量也在减少, 其质与量均多消损于几乎不具有生态服务价值的建设用地, 这种情况应引起我们的警觉。

3.2 土地生态系统服务价值变化的区县差异

研究期内, 关中地区各区县中, 单位面积土地生态系统服务价值最大的是太白县, 其次是周至县, 最小的是合阳县和澄城县。西安市区、兴平市、大荔县、咸阳市区、临潼区、高陵县、武功县、礼泉县、阎良区、泾阳县、乾县等 11 个区县的土地生态系统服务价值量减少, 其它区县均增加, 减速最快的是西安市区, 增速最快的是周至县; 其中 1986—2000 年, 岐山县、扶风县、宝鸡市区、凤翔县、陇县、眉县、长安区、蓝田县、户县、陈仓区、凤县、太白县、周至县等 13 个区县的土地生态系统服务价值量增加, 其余区县减少, 增量最大的是周至县和太白县, 减量最大的是蒲城县; 2000—2007 年, 西安市区、兴平市、高陵县、武功县等 4 个区县的土地生态系统服务价值量减少, 其它区县都增加, 减量最大的是西安市区, 增量最大的是周至县和凤县(见图 2)。关中地区各区县土地生态系统服务价值量及其变化的差异性主要受制于其土地利用结构差异, 太白县、周至县均位于秦岭, 森林覆盖率很高, 人口稀少, 高质量的自然生态系统得以保存, 土地生态系统服务价值较大; 西安市区等城市生态系统由于城市扩张, 周边的各类自然和半

自然生态系统逐步消失于基本不具有生态服务价值的建设用地上,土地生态功能价值量减少甚至消失都是必然的。

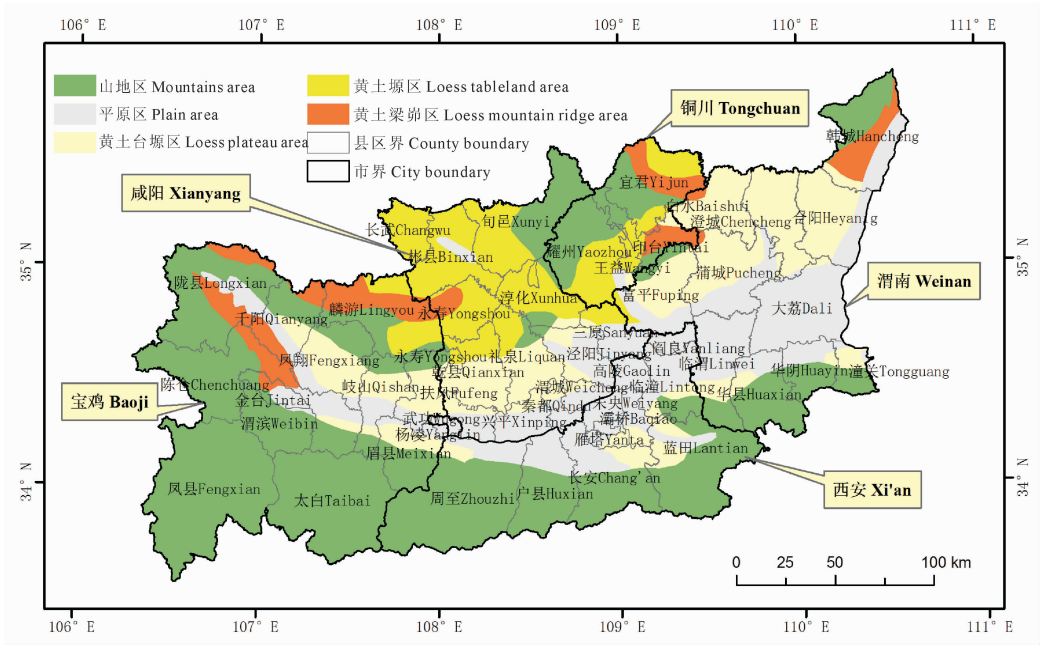


图 1 关中地区地貌类型及行政区划

Fig.1 Geomorphologic patterns and administrative divisions of Guanzhong area

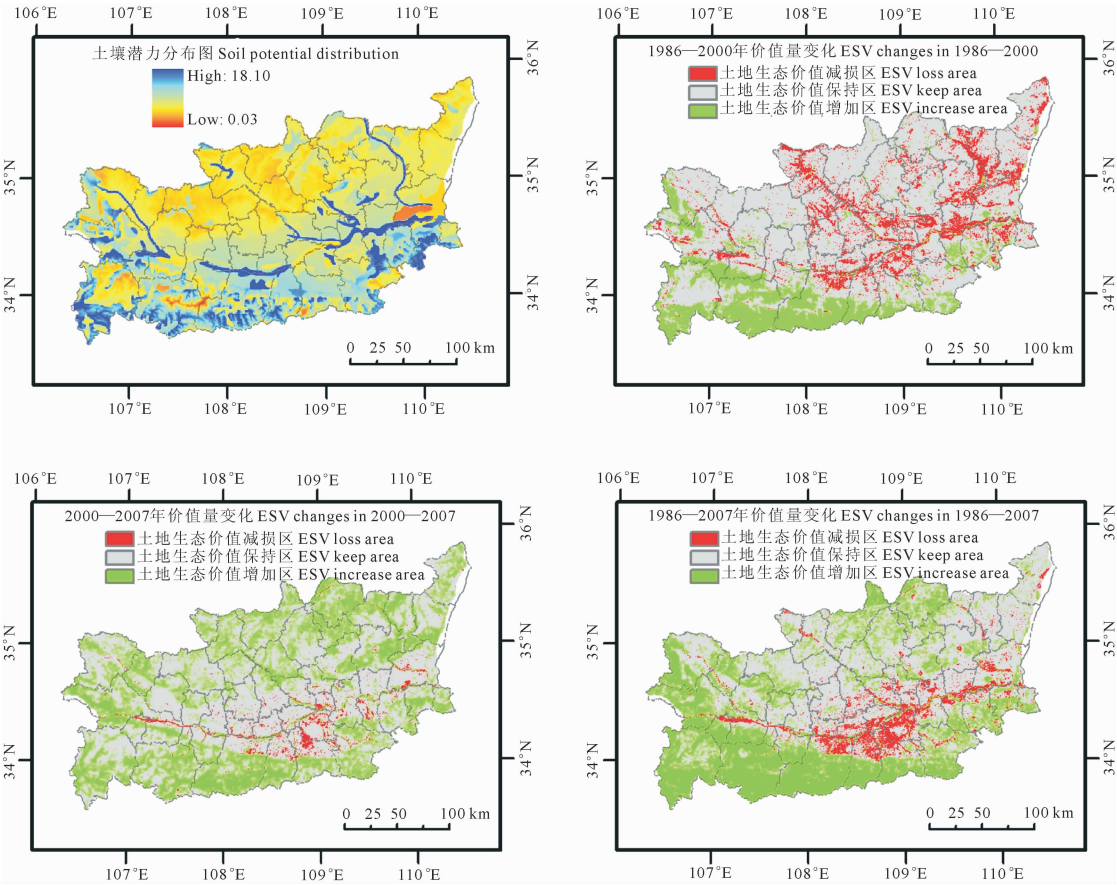


图 2 关中地区 1986—2007 年土壤潜力分布及土地生态服务价值变化

Fig.2 Soil potential and land ecosystem services value(ESV) changes in Guanzhong area during 1986—2007

表 1 关中地区 1986—2007 年土地生态服务价值构成及变化/(10⁸ 元·a⁻¹)
Table 1 ESV and its changes in Guanzhong area during 1986—2007/(10⁸ yuan·a⁻¹)

土地利用类型 Land use patterns	总量 Total quantity			总量变化 Total quantity change		
	1986	2000	2007	1986—2000	2000—2007	1986—2007
耕地 Cultivated land	140.38	130.37	128.80	− 10.01	− 1.58	− 11.59
林地 Forest land	257.70	272.57	315.99	14.87	43.43	58.30
草地 Grassland	89.65	88.81	97.06	− 0.83	8.25	7.42
水域 Waters	21.77	20.54	19.08	− 1.23	− 1.46	− 2.69
未利用地 Unused land	0.11	0.09	0.09	− 0.03	0.00	− 0.02
关中地区 Guanzhong area	509.61	512.38	561.02	2.77	48.64	51.41

3.3 土地生态系统服务价值变化的地貌差异

从表 2 可知:1986—2007 年,关中地区各地貌单元中,单位面积土地生态系统服务价值量最大的是山地区,黄土塬区最小;单位面积土地生态系统服务价值量持续增加的只有山地区,黄土梁峁区、黄土台塬区、黄土塬区是先减后增、总体增加,平原区则是先减后增、总体减少。在总量构成方面,黄土梁峁区、黄土台塬区、黄土塬区、平原区、山地区的生态系统服务价值量占全区总价值量百分比在 1986 年为 3.86%、10.25%、6.21%、15.84%、63.83%,2000 年为 3.64%、9.63%、5.55%、14.34%、66.84%,2007 年为 3.89%、9.85%、6.12%、13.59%、66.54%;山地区是研究区土地生态系统服务价值量占比最大的区域,而且优势在继续扩大,平原区的生态服务价值量占比则在快速下降。研究期内,黄土梁峁区、黄土台塬区、黄土塬区、平原区、山地区的生态系统服务价值量年度递增率为 0.50%、0.27%、0.39%、− 0.27%、0.66%;其中 1986—2000 年年度递增率为 − 0.39%、− 0.40%、− 0.76%、− 0.67%、0.37%;2000—2007 年年度递增率为 2.30%、1.63%、2.73%、0.53%、1.24%;由此可见:研究期内,关中

地区的五大地貌单元中,只有平原区的土地生态系统服务价值量在减少,其余四类地貌单元的土地生态系统服务价值量均增加,且增量最大、增速最快的都是山地区。各地貌单元土地生态服务价值分布的差异性由其空间位置及地貌形态所决定,南部的秦岭山地因降水丰沛而植被茂密,为土地生态价值的高值区,西部和北部山地虽降水较少,但因人类影响较少,故而亦有较好的林草覆被,土地生态服务功能也就相对较强;中部和北部的平原、黄土塬及黄土台塬因地势平坦而成为人类活动的主要场所,土地生态系统功能破坏严重,为生态价值的低值区。各地貌单元土地生态价值变化情况则受社会观念、经济发展及政策等人文因子的主导,由于改革开放造就了内地与沿海、平原与山区之间的经济发展差异,使得人类活动逐步向山地外转移,山地的生态服务功能得到了恢复和增强;在叠加强制性的生态措施后,研究区除平原区外,各地貌单元的土地生态价值都有较大幅度的提升;但因地貌形态的差异、生态保护政策侧重方向及颁布时间等方面的影响,使得研究区土地生态价值的变化情况在各地貌单元呈现较明显的时空差异性。

表 2 关中地区 1986—2007 年各地貌单元土地生态服务价值量
Table 2 ESV and its changes in different geomorphologic patterns of Guanzhong area

地貌单元 Geomorphic unit	单位面积价值/(元·hm ⁻² ·a ⁻¹) Value per unit area/(Yuan·hm ⁻² ·a ⁻¹)			总量/(10 ⁸ 元·a ⁻¹) Total quantity/(10 ⁸ yuan·a ⁻¹)		
	1986	2000	2007	1986	2000	2007
黄土梁峁区 Loess mountain ridge area	6028	5726	6714	19.69	18.63	21.85
黄土台塬区 Loess plateau area	5081	4806	5383	52.23	49.35	55.26
黄土塬区 Loess tableland area	4826	4353	5257	31.67	28.44	34.35
平原区 Plain area	7221	6579	6826	80.71	73.49	76.24
山地区 Mountains area	13928	14721	16048	325.31	342.47	373.32

4 结论与讨论

1) 利用格网插值方法将辐射、气温、降水、蒸发

等气候因素和有机质、氮、磷、钾含量等土壤肥力因素以及高程、坡度等地形地貌因素细化到每一个栅格单元,然后采用土壤潜力计算模型进行地图运算,

得到关中地区土壤潜力栅格图;利用土地利用图、生态系统单位面积服务价值当量因子表及粮食价格获取各地类单位生产力服务价值分布图;上述两图作地图乘运算得到土地生态系统服务价值栅格图;由于土壤潜力栅格图的每一个栅格均包含了特定空间位置的自然人文信息,依此而得的土地生态系统服务价值分布图自然也具有以栅格为单元的空间差异性;从而在栅格尺度上解决了土地生态系统服务价值空间异质性问题,避免了研究区内相同面积的同一土地利用类型不论质量如何、位于何处均取同样的生态服务价值量的不合理现象,使土地生态服务价值估算更精细、更科学。

2) 关中地区土地生态系统服务价值总量在 1986—2007 年间增加了 51.41×10^8 元,增幅约为 10.09%,2000—2007 年段增速约为 1986—2000 年段的 33.65 倍;各地类中:林地生态系统服务价值量持续增加,草地生态系统服务价值量是先减后增、总体增加,其它生态系统的服务价值量基本是持续减少的;全境有 11 个区县的土地生态系统服务价值量减少,其它区县增加,减速最快的是西安市区,增速最快的是周至县;各地貌单元中:平原土地生态系统服务价值量减少,其余四类地貌单元土地生态系统服务价值量均增加,且山地增长最快。

3) 研究区土地生态系统服务价值变化的时空差异是自然人文因素共同作用的结果,地理位置、地表形态等自然因素主导着土地生态系统服务价值的空间分布,而经济、政策等人文因子则对其变化起着主控作用。八十年代后期,改革开放逐步取得成效,农村外出务工人员增加,经济条件较差的山区有较多的青壮年到城市谋生,同时务工收入改善了留居人员的生活条件,煤电油等能源替代了薪柴,使山区的植被得到恢复、土地生态价值量得以提升;但地势平坦的平原、黄土塬及黄土台塬则因工业化、城镇化的推进而大量耗损具有较高生态价值的农用地,土地生态价值总量减损严重;2000 年以后,大规模的退耕还林还草工程极大地改善了研究区生态环境、大幅提升了其土地生态系统服务价值总量,特别是地处退耕还林重点区段的黄土塬、黄土台塬及黄土梁峁区的土地生态系统服务价值急剧增加,但平原区在经济建设和生态建设双方的博弈中,经济建设占用生态用地依然是主流,平原区的土地生态价值总量继续下滑。综上可知:研究区在研究期内,经济重心向中东部的平原及黄土台塬区转移,生态重心则向周围的山区及黄土梁峁区转移,并实现了经

济总量和生态总量的双赢;说明科学调整用地结构、合理利用土地资源能够一定程度地在有限的土地资源上实现经济与环境的协调发展。

参考文献:

- [1] 张志强,徐中民,程国栋.生态系统服务与自然资本价值评估[J].生态学报,2001,21(11):1919-1926.
- [2] Costanza R, d'Arge R, deGroot R, et al. The value of the world's ecosystem services and nature[J]. Nature, 1997,387:253-260.
- [3] 李金昌,等.生态价值论[M].重庆:重庆大学出版社,1999.
- [4] 欧阳志云,王效科,苗 鸿.中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J].生态学报,1999,19(5):607-613.
- [5] 陈仲新,张新时.中国生态系统效益的价值[J].科学通报,2000,45(1):17-22.
- [6] 肖 寒,欧阳志云,赵景柱,等.森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例[J].应用生态学报,2000,11(4):481-484.
- [7] 赵景柱,肖 寒,吴钢.生态系统服务的物质与价值量评价方法的比较[J].应用生态学报,2000,11(2):290-292.
- [8] 姜文来.森林涵养水源的价值核算研究[J].水土保持学报,2003,17(2):34-40.
- [9] 傅伯杰,吕一河,高光耀.中国主要陆地生态系统服务与生态安全研究的重要进展[J].自然杂志,2012,34(5):261-272.
- [10] 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.
- [11] 鲁春霞,谢高地,肖 玉,等.青藏高原生态系统服务功能的价值评估[J].生态学报,2004,24(12):2749-2755.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 封志明.资源科学导论[M].北京:科学出版社,2004.
- [15] 郭秀锐,毛显强.中国土地承载力计算方法研究综述[J].地球科学进展,2000,15(6):705-711.
- [16] 刘纪远,徐新良,庄大方,等.20 世纪 90 年代 LUCC 过程对中国农田光温生产潜力的影响——基于气候观测与遥感土地利用动态观测数据[J].中国科学 D 辑地球科学,2005,35(6):483-492.
- [17] 杨重一,庞士力,孙彦坤.作物生产潜力研究现状与趋势[J].东北农业大学学报,2008,39(7):140-144.
- [18] 沈思渊,席承藩.淮北涡河流域农业自然生产潜力模型与分析[J].自然资源学报,1991,6(1):22-33.
- [19] 刘 扬,贾树海,那 波.土地生产潜力计算方法研究[J].中国农学通报,2005,21(12):376-381.
- [20] 朱志辉,张福春.我国陆地生态系统的植物太阳能利用率[J].生态学报,1985,5(4):343-356.
- [21] 康西言,马辉杰.河北省气候生产潜力的估算与区划[J].中国农业气象,2008,29(1):37-41.
- [22] 张宏利,陈 豫,胡 伟,等.陕西省户县气候生产潜力分析[J].水土保持研究,2009,16(1):111-114.
- [23] 葛亚宁,刘 洛,徐新良,等.近 50a 气候变化背景下我国玉米生产潜力时空演变特征[J].自然资源学报,2015,30(5):784-795.