

西北旱区生态服务价值时空动态研究

田 龙¹,张青峰^{1,2,3},塔 娜¹,章 慧¹,董 艳¹

(1.西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100; 2.农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室,陕西 杨凌 712100;
3.西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院,陕西 杨凌 712100)

摘 要:为探明西北旱区生态服务价值的时空差异性,以 2004—2012 年相关数据为基础,对其生态服务价值进行计算。结果表明:(1) 2012 年西北旱区的生态服务价值较 2004 年增加了 166.1×10^9 元,而人均生态服务价值却减少了 8 元,说明人口的增速比生态服务价值的增速大,应适当控制人口增长;(2) 西北旱区各省区生态服务价值变化大小依次为甘肃>陕西中北部>新疆>内蒙古中西部>青海>宁夏,其中宁夏和青海为负变化;(3) 2004—2012 年间西北旱区生态经济协调度为 0.33,表明生态环境和经济发展处于轻度协调状态;(4) 敏感性指数小于 1,说明西北旱区生态服务价值对生态价值系数弹性较弱,本文研究结果真实可信。研究期内的土地利用变化取得了较明显的生态效益,为西北旱区的经济建设和社会发展提供了良好的环境平台。

关键词:生态服务价值;时空动态;西北旱区
中图分类号: S181; Q149 **文献标志码:** A

Research on the spatial-temporal dynamic of ecological service value in Northwest Arid Areas

TIAN Long¹, ZHANG Qing-feng^{1,2,3}, TA Na¹, ZHANG Hui¹, DONG Yan¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Key Lab for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Water Saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to investigate the spatial-temporal variability of ecological service value (ESV) in Northwest Arid Areas, the ESV was calculated based on related data from 2004 to 2012. Results showed that: (1) The whole ESV in 2012 has increased 166.1 billion yuan than 2004 in Northwest Arid Areas, but the ESV per person was reduced 8 yuan correspondingly. This explained that the population growth rate was higher than the ESV growth rate, so the population growth rate should be appropriately controlled. (2) The change rate of ESV in each Province and Region in Northwest Arid Areas was order as Gansu > North-Central Shaanxi > Xinjiang > West-central Inner Mongolia > Qinghai > Ningxia, and only Ningxia and Qinghai was kept as a negative change. (3) The value of the coordination degree of ecological economic during 2004 to 2014 in Northwest Arid Areas was 0.33, it indicated a mild coordination state for the ecological environment and economic development; (4) The sensibility index was less than 1, it explained that the ESV in Northwest Arid Areas was relatively weak to the flexibility of ecological service coefficient. This research results were genuine and believable. During research period, the land-use change has achieved significant ecological benefits. This study provides a good enviroment platform for economical construction and social development in Northwest Arid Areas.

Keywords: ecological service value; spatial-temporal dynamic; Northwest Arid Areas

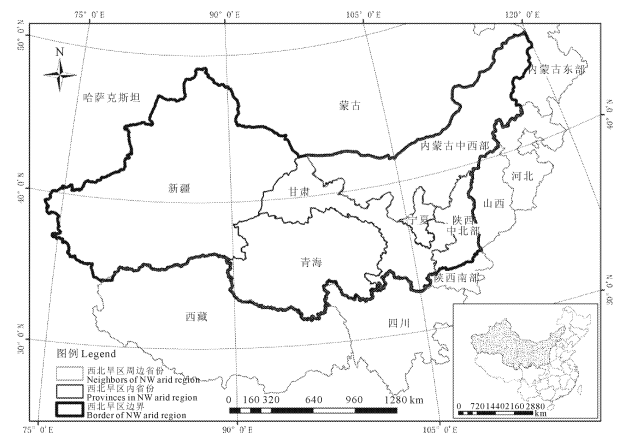
生态系统服务是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务^[1],是人类生存和发展的基本条件,并能以经济价值即生态服务价值(ecological service value, ESV)的形式进行核算^[1]。自 1997 年 Costanza^[2]提出生态系统可提供气体调节、气候调节、干扰调节、水调节等 17 项服务功能后,国内外诸多学者对不同地域生态系统的 ESV 进行了大量针对性的科学研究^[3-7],在理论

收稿日期:2016-07-05 修回日期:2016-09-23
基金项目:国家科技支撑计划项目(2011BAD29B09-1-1C)
作者简介:田 龙(1988—),男,河北藁城人,硕士,研究方向为地图学与地理信息系统。E-mail:2403tianlong@163.com。
通信作者:张青峰(1974—),男,山西孝义人,副教授,博导,主要从事地图学与地理信息系统研究。E-mail:zhqf@nwsuaf.edu.cn。

和实践方面均取得了重要进展,对于提高公众生态保护意识、制定生态系统保育政策和决策提供了理论依据。但从区域经济发展规划角度出发,以气候特征划分的大型区域如西北旱区为尺度而进行的研究仍较为稀少。在我国的 ESV 研究实践中,由于 Costanza 方法中相关评价标准的适用性遭到普遍质疑^[8],而多采用谢高地等^[9-10]提出的改进评价方法。故本文利用该方法定量分析了西北旱区不同土地利用类型的 ESV 时空分异特征,以期对西北旱区的土地利用规划及生态经济协同发展提供一定理论参考。

1 研究区概况

我国西北旱区主要是以地理气象特征命名的区域(73°28'E~119°54'E,31°33'N~49°11'N),西部、北部与邻国接壤,东至大兴安岭,南沿秦岭—淮河的北麓,辖宁夏、甘肃、青海、新疆四省(区)的全部及内蒙古中西部和陕西中北部(如图 1),东西距离约 3 800 km,南北距离约 2 100 km,总面积 3.73×10^6 km²,约占全国国土面积的 38%。该区气候干燥,蒸发量大,地形复杂,地貌类型多样,山脉、河流众多,草原、荒漠草原和荒漠并存,农、林、牧等多产业并存发展,土地利用类型多样。



注:地理坐标系为 GCS_WGS_1984,采用 Asia_North_Albers_Equal_Area_Conic 投影。

Note: Geographic coordinate system is GCS_WGS_1984, using Asia_North_Albers_Equal_Area_Conic projection.

图 1 西北旱区地理范围示意图

Fig.1 The geographical scope of the Northwest Arid Areas

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

数据来源于 2004—2012 年西北旱区各省(区)国土资源厅提供的土地利用详查及变更调查资料、各省(区)统计年鉴以及中国统计年鉴、国土资源公

报等公开出版物。

2.2 土地利用变化分析

按照国家土地利用现状分类标准将土地利用二级地类进行归并分为耕地、园地、林地、草地、居民点及工矿用地、交通用地、水域和未利用地等 8 种类型。

2.2.1 土地利用动态度 土地利用动态度是指在一定时间段内,某类土地利用类型的面积变化情况^[11],该指标可有效地反映土地利用的空间差异及土地利用变化的剧烈程度。公式如下:

$$L = \frac{(U_b - U_a)}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中, L 表示 T 时间段内某种土地利用类型的动态度(%); U_a 、 U_b 分别为研究起止时段内某一土地利用类型的面积(hm²); T 为研究时间长度(a)。

2.2.2 土地利用综合指数 人类对土地进行利用会产生不同的利用深度与广度。根据樊玉山等^[12]的研究,将土地利用程度分为 4 级,并赋予分级指数:未利用地赋值 1,林地、草地和水域赋值 2,耕地和园地赋值 3,居民点及工矿用地、交通用地赋值 4。土地利用程度公式如下:

$$D = \sum_{k=1}^4 A_k \cdot U_k / U_{\text{总}} \quad (2)$$

式中, D 为土地利用综合指数; A_k 为第 k 类土地利用类型的分级指数; U_k 为第 k 类土地利用类型的面积(hm²); $U_{\text{总}}$ 为研究区域总面积(hm²)。

2.3 ESV 评估方法

谢高地等^[9-10]以 Costanza 方法为依据,针对中国实际情况,制定了“中国生态系统服务价值当量因子表”,并规定每公顷农田的年粮食产量的 ESV 当量为 1,其它生态系统类型的 ESV 当量相对于农田生态系统的贡献而定,且以全国平均粮食市场产值的 1/7 为单位 ESV 当量因子的经济价值量。生态服务功能单价计算公式如下:

$$E_{ik} = e_{ik} \cdot E_a \quad (3)$$

式中, E_{ik} 为第 k 种土地利用生态系统类型(如耕地、林地等生态系统)的第 i 种生态服务功能(如气体调节、水源涵养、娱乐文化等)的单价(元·hm⁻²); e_{ik} 为当量因子; E_a 为农田生态系统粮食的单位面积 ESV(元·hm⁻²)。

根据各类生态系统面积和各类生态系统服务功能的单价,由式(4)~(6)计算出研究区域生态系统服务功能的经济价值^[13]。

$$ESV_k = \sum_i U_k \times E_{ik} \quad (4)$$

$$ESV_i = \sum_k U_k \times E_{ik} \quad (5)$$

$$ESV_{\text{总}} = \sum_k \sum_i U_k \times E_{ik} \quad (6)$$

式中, ESV_k 表示第 k 种土地利用类型的 ESV (元); ESV_i 表示第 i 项生态服务功能的价值(元); $ESV_{总}$ 表示研究区域总的 ESV (元); E_{ik} 代表第 k 类土地利用类型第 i 项服务功能的单位面积的生态价值(元 · $hm^{-2} \cdot a^{-1}$)。

变差贡献率是指某一土地利用类型的 ESV 变化量占该区域总的 ESV 变化量的比例,用于判断不同土地利用类型变化对 ESV 变化的影响程度,计算公式如下:

$$ESV_{cc} = \frac{ESV_{ib} - ESV_{ia}}{\sum_{i=1}^n (ESV_{ib} - ESV_{ia})} \tag{7}$$

式中, ESV_{cc} 为变差贡献率; ESV_{ia} 和 ESV_{ib} 分别为研究时间起止点的第 i 项生态服务功能的价值(元)。

2.4 人均 ESV

从人口对 ESV 影响的角度进行分析,人均 ESV 在一定程度上反映出区域 ESV 大小随人口数量的变化规律,公式如下:

$$ESV_{ave} = ESV/P \tag{8}$$

式中, ESV_{ave} 为人均 ESV (元); P 为研究区域总人口(人)。

2.5 生态经济协调度模型与敏感性分析

2.5.1 生态经济协调度模型 生态经济协调度(eco-economic harmony, EEH)指研究区域在一定时期内的 ESV 变化率和经济总量变化率的比值。公式如下^[14]:

$$EEH = \frac{ESV_f}{GDP_f} \tag{9}$$

式中, EEH 为生态经济协调度; ESV_f 为单位面积 ESV 变化率(%); GDP_f 为单位面积经济总量变化率(%)。 EEH 在一定程度上反映生态环境和经济发展的耦合关系,参考相关文献^[14] 得到其分级标准(表 1)。

表 1 生态经济协调度分级标准

Table 1 The classification standard of coordination degree for ecologic economic

生态经济协调度 EEH	等级 Grade	生态经济协调度 EEH	等级 Grade
- 0.25 ~ 0	微度不协调 Micro inharmony	0 ~ 0.25	微度协调 Micro harmony
- 0.50 ~ - 0.25	轻度不协调 Mild inharmony	0.25 ~ 0.50	轻度协调 Mild harmony
- 0.75 ~ - 0.50	中度不协调 Moderate inharmony	0.50 ~ 0.75	中度协调 Moderate harmony
- 1.00 ~ - 0.75	较高不协调 More inharmony	0.75 ~ 1.00	较高协调 More harmony
< - 1.00	高度不协调 Most inharmony	> 1.00	高度协调 Most harmony

2.5.2 敏感性指数 为验证生态价值系数的准确性,本文引入敏感性指数(coefficient of sensitivity, CS)来分析 ESV 对生态价值系数的敏感程度,计算方法^[15]如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_m - ESV_n)/ESV_n}{(VC_{mk} - VC_{nk})/VC_{mk}} \right| \tag{10}$$

式中, CS 为敏感性系数,表示单位面积生态价值(VC)变化 1% 所引起的 ESV 变化; ESV_n 、 ESV_m 分别为生态价值系数调整前后的 ESV (元); VC_{nk} 、 VC_{mk} 分别为调整前后第 k 种土地利用类型的生态价值系数。

若 $CS < 1$,则说明 ESV 对于 VC 是缺乏弹性的,表明结果可信;若 $CS > 1$,则表明 ESV 对于 VC 是富有弹性的。

3 结果分析

3.1 西北旱区土地利用变化

2004—2012 年西北旱区土地利用变化状况如表 2 所示。由表 2 可知,研究期间,未利用地、草地面积占比均较大,平均占西北旱区总面积的 39.36% 和 38.63%。西北旱区的土地利用类型面积发生了明显变化,面积变化情况为林地($3.90 \times 10^6 \text{ } hm^2$) > 交通过地($2.49 \times 10^5 \text{ } hm^2$) > 水域($2.41 \times 10^5 \text{ } hm^2$) > 园地($1.65 \times 10^5 \text{ } hm^2$) > 居民点及工矿用地($1.48 \times 10^5 \text{ } hm^2$) > 耕地($- 9.93 \times 10^5 \text{ } hm^2$) > 未利用地($- 7.31 \times 10^6 \text{ } hm^2$) > 草地($- 1.19 \times 10^7 \text{ } hm^2$),面积占比变化情况分别为交通过地(8.72%) > 水域用地(8.01%) > 园地(1.61%) > 林地(0.71%) > 居民、工矿用地(0.46%) > 未利用地(- 0.53%) > 耕地(- 0.60%)。随着“村村通”工程的实施以及地方经济和旅游业的发展,交通网络逐步发达,在一定程度上也促进了交通过地面积占比的增加。

2004—2008 年,林地、草地、水域和耕地比例呈下降趋势,其它土地利用类型比例呈上升趋势,其土地利用强度综合指数亦有增长态势;2008—2012 年,林地、草地、水域和建设用地(包括居民点及工矿用地和交通过地)比例呈增长态势,耕地和未利用地比例呈下降趋势,其土地利用强度综合指数呈增长态势。

3.2 ESV 时空变化

3.2.1 ESV 时间维度分析 本文对西北旱区 2004—2012 年之间的年平均单位面积农田自然粮食产量、粮食作物播种面积、粮食价格等相关指标进行计算,根据式(3)得到不同土地利用类型年均单位面积的生态价值,结果见表 3。

由表 3 和公式(4) ~ (7),计算西北旱区不同土地利用生态系统服务价值变化结果见表 4。

表 2 2004—2012 年西北旱区土地利用变化状况

Table 2 The change of land-use during 2004 to 2012 in Northwest Arid Areas

年份 Year	耕地 Arable land	林地 Forestry	草地 Grassland	水域 Water area	未利用地 Un-utilized land	居民点及 工矿用地 Build-up land	交通用地 Land for traffic	园地 Garden land	土地利用 综合指数/% Comprehensive index for land use
2004	1849.23	6145.53	15039.34	33.34	15282.24	353.93	31.73	113.54	167.67
2006	1805.09	5731.41	14545.25	32.64	14693.32	345.68	32.29	114.32	167.78
2008	1792.81	5500.05	14654.84	33.26	14817.38	352.78	33.63	115.26	167.46
2010	1782.76	5738.81	14573.55	33.11	14671.68	351.74	33.62	114.72	167.82
2012	1749.92	6535.78	13850.01	57.39	14551.56	368.73	56.62	129.99	168.31
面积变化 Variation of area /(10 ⁴ hm ²)	-99.31	390.25	-1189.33	24.05	-730.68	14.80	24.89	16.46	—
动态度/% Dynamic level	-0.60	0.71	-0.88	8.01	-0.53	0.46	8.72	1.61	—

表 3 西北旱区不同生态系统单位面积 ESV/(元·hm⁻²·a⁻¹)

Table 3 The ESV per unit area for different ecosystem in Northwest Arid Areas

生态系统 服务类型 ESV	森林 Forestry		草地 Grassland		农田 Farmland		湿地 Wet land		水体 Water		荒漠 Desert	
	当量 Equivalent	价值 Value	当量 Equivalent	价值 Value	当量 Equivalent	价值 Value	当量 Equivalent	价值 Value	当量 Equivalent	价值 Value	当量 Equivalent	价值 Value
气体调节 Gas regulation	3.50	4527.66	0.80	1034.89	0.50	646.81	1.80	2328.51	0.00	0.00	0.00	0.00
气候调节 Climate regulation	2.70	3492.77	0.90	1164.26	0.89	1151.32	17.10	22120.86	0.46	595.06	0.00	0.00
水源涵养 Water sources conservation	3.20	4139.58	0.80	1034.89	0.60	776.17	15.50	20051.07	20.38	26363.93	0.03	38.81
土壤形成与保护 Soil formation and protection	3.90	5045.11	1.95	2522.55	1.46	1888.68	1.71	2212.09	0.01	12.94	0.02	25.87
废物处理 Waste disposal	1.31	1694.64	1.31	1694.64	1.64	2121.53	18.18	23517.97	18.18	23517.97	0.01	12.94
生物多样性保护 Biodiversity conservation	3.26	4217.19	1.09	1410.04	0.71	918.47	2.50	3234.04	2.49	3221.11	0.34	439.83
食物生产 Food production	0.10	129.36	0.30	388.09	1.00	1293.62	0.30	388.09	0.10	129.36	0.01	12.94
原材料 Raw material	2.60	3363.41	0.05	64.68	0.10	129.36	0.07	90.55	0.01	12.94	0.00	0.00
娱乐文化 Entertainment culture	1.28	1655.83	0.04	51.74	0.01	12.94	5.55	7179.58	4.34	5614.30	0.01	12.94
合计 Total	21.85	28265.54	7.24	9365.79	6.91	8938.90	62.71	81122.76	45.97	59467.60	0.42	543.32

由表 4 可知,西北旱区 2004—2012 年的 ESV 总体呈现出增长态势,研究期间共增长了 166.10×10^9 元,价值变化率为 4.84%。其中,林地 ESV 增长量最大(199.52×10^9 元),其次为水域(20.12×10^9 元)和园地(4.28×10^9 元),而草地 ESV 减少量最大(-48.74×10^9 元),其次为耕地(-8.93×10^9 元)和未利用地(-0.15×10^9 元);从价值变化率来看,水域 ESV 增长幅度最大(101.49%),园地(20.02%)和林地(11.49%)次之,而耕地 ESV 减少率最大(-5.40%),说明耕地面积的减少对其 ESV 变化较为显著,今后应注意保护耕地面积;从变差贡献率来

看,林地的生态服务功能贡献率最大,草地面积的减少使其贡献率明显降低。由此可知,西北旱区的 ESV 与其土地利用类型面积变化有着紧密的联系。

由西北旱区生态系统单项服务价值变化(见图 2)可知,土壤形成与保护、生物多样性保护的 ESV 占比较大,而食物生产占比最小。单项 ESV 在 2004—2008 年呈减少状态,在 2008—2012 年呈增加状态。2004—2006 年土壤形成与保护的减少量占总减少量的比例最大(20.09%),而在 2006—2008 年间,气体调节功能的单项 ESV 减少率最多(17.07%),2008—2010 年除食物生产功能减少外其它服务功能

均有所增加,2010—2012 年各生态系统 ESV 均增加,且土壤形成与保护的比例最大(16.5%)。2004—2012 年,水源涵养的 ESV 增长最多(19.6%)。

表 4 西北旱区不同土地利用生态系统服务价值变化
Table 4 Variances of ESV for different land use in Northwest Arid Areas

土地利用类型 Land-use type	单位面积生态价值 /(元·hm ⁻² ·a ⁻¹) Ecological value per unit area	生态价值/(10 ⁹ 元·a ⁻¹) ESV					2004—2012 年价值变化/10 ⁹ 元 Value change during 2004—2012	价值变化率/% Valuechange rate	变差贡献率/% ESV _{ec}
		2004	2006	2008	2010	2012			
耕地 Arable land	8938.90	165.30	161.35	160.26	159.36	156.37	- 8.93	- 5.40	- 5.38
园地 Garden land	18815.67	21.36	21.51	21.69	21.58	25.64	4.28	20.02	2.58
林地 Forestry	28265.54	1737.07	1620.01	1554.62	1622.11	1936.59	199.52	11.49	120.12
草地 Grassland	9365.79	1408.55	1362.28	1372.54	1364.93	1359.81	- 48.74	- 3.46	- 29.35
水域 Water area	59467.60	19.83	19.41	19.78	19.69	39.95	20.12	101.49	12.11
未利用地 Unutilized land	543.32	83.03	79.83	80.51	79.71	82.88	- 0.15	- 0.18	- 0.09
合计 Total	125396.82	3435.14	3264.40	3209.39	3267.38	3601.24	166.10	4.84	100.00

3.2.2 ESV 空间维度分析 西北旱区各省(区)2004—2012 年的生态系统服务价值及其变化率见表 5。从表 5 可知,在研究期间,西北旱区各省(区)的 ESV 变化不一:青海和宁夏净减,这与林地面积的大幅减少紧密相关;内蒙古中西部、陕西中北部、甘肃和新疆为净增,原因是林地、水域面积的增加和未利用面积的减少;从变化幅度来看:宁夏的 ESV 下降的最快(20.79%),其次为青海(3.44%),宁夏的林地减少量占比较大,是其 ESV 减少率最大的主要原因;价值变化率最快的为甘肃(27.87%),其次为陕西中北部(16.81%),其余省(区)的变化率都不超过 10%,表明甘肃和陕西中北部近年来生态环境改善较快,生态效益明显。水域、林地的单位面积生态价值较大,其面积大小成为影响各省区 ESV 的主要因素。

3.3 人均 ESV 分析

2004—2012 年西北旱区人口数量变化见图 3。

由图 3 可知,研究期间西北旱区人口数量逐年增长。由西北旱区各省区人均 ESV(见表 6)可知,除 2004 年外,其它年份各地区的 ESV_{ave} 大小依次为:青海>内蒙古中西部>新疆>甘肃>陕西中北部>宁夏。总体上看,西北旱区人均 ESV 呈减少态势,这说明在一定程度上,人口的增长对 ESV 有抑制作用。内蒙古中西部、青海、宁夏和新疆的人均 ESV 都出现了不同程度的下降,说明人口的增长给其 ESV 的增长带来负面影响,人口负荷较重;陕西中北部和甘肃的情况比较乐观,人均 ESV 增加。

3.3 生态经济协调度与敏感性指数分析

3.3.1 生态经济协调度 西北旱区 ESV、GDP 变化率分别为 89.47%、272.97%,其生态经济协调度 EEH 为 0.33。西北旱区的经济和生态状况都呈现出良好态势,都有较高水平的增长;此外西北旱区的生态环境和经济发展处于轻度协调水平,虽然二者

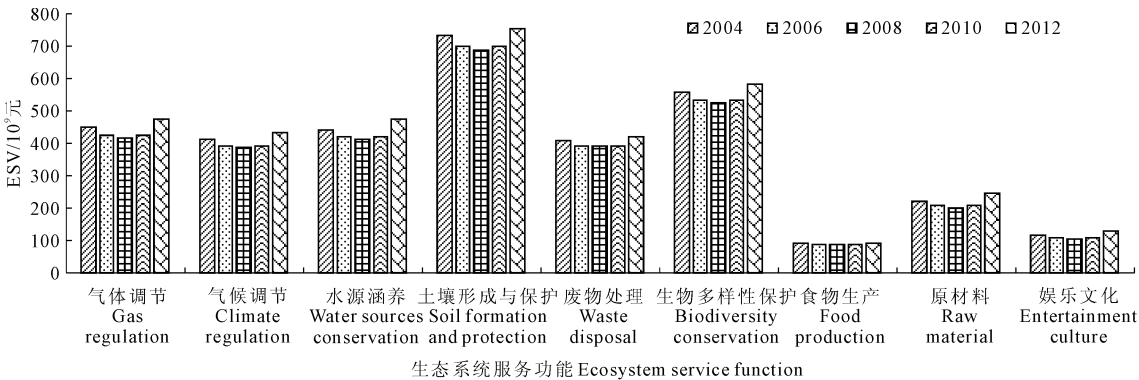


图 2 西北旱区生态系统单项服务价值变化
Fig.2 Variances of individual ecosystem service value in Northwest Arid Areas

协调发展,但仍有恶化的可能。

2012 年不同土地利用类型的 CS 变化(见表 7)和 2012 年西北旱区内各省(区)的敏感性系数 CS 分布(见图 4)。

3.3.2 敏感性指数 本文将单位面积生态系统服务价值分别上下调整 50%,得到西北旱区 2004—

表 5 2004—2012 年各地区生态系统服务价值空间分异/10⁹ 元

Table 5 Spatial differentiation of ecosystem service value in each region during 2004—2012/10⁹ yuan

省(区) Province(district)	2004	2006	2008	2010	2012	价值变化 Value change	价值变化率/% Value change rate
内蒙古中西部 West-central Inner of Mongolia	1588.15	1606.22	1537.67	1604.40	1605.75	17.61	1.11
陕西中北部 North - central of Shaanxi	317.27	307.92	310.25	308.51	370.59	53.33	16.81
甘肃 Gansu	330.76	276.35	278.58	277.27	422.95	92.19	27.87
青海 Qinghai	476.11	390.50	394.05	391.55	459.71	- 16.40	- 3.44
宁夏 Ningxia	55.93	40.96	41.25	40.93	44.30	- 11.63	- 20.79
新疆 Xinjiang	666.92	642.45	647.59	644.72	697.93	31.01	4.65
总计 Total	3435.14	3264.40	3209.39	3267.38	3601.24	166.10	4.84

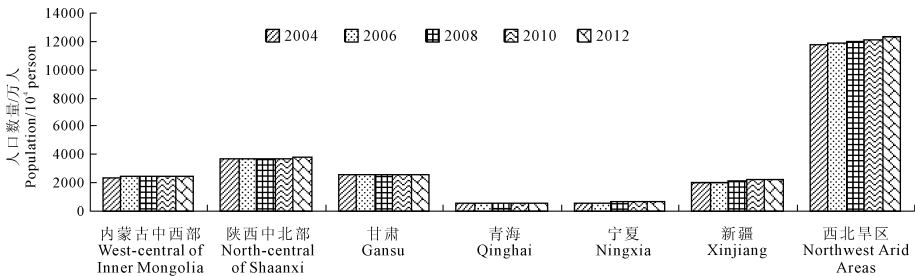


图 3 2004—2012 年西北旱区人口数量变化图

Fig.3 Change of population during 2004—2012 in Northwest Arid Areas

表 6 2004—2012 年西北旱区各省区人均 ESV 变化/元

Table 6 Variance of ESV per capita in each province during 2004—2012 in Northwest Arid Areas/yuan

省(区) Province(district)	2004	2006	2008	2010	2012	2004— 2006	2006— 2008	2008— 2010	2010— 2012	2004— 2012
内蒙古中西部 West-central of Inner Mongolia	66366	66510	62916	64903	64488	144	- 3594	1987	- 415	- 1878
陕西中北部 North-central of Shaanxi	8619	8324	8345	8260	9875	- 295	20	- 85	1614	1256
甘肃 Gansu	13017	10850	10920	10831	16406	- 2167	70	- 90	5575	3389
青海 Qinghai	88332	71259	71128	69548	80229	- 17073	- 131	- 1580	10682	- 8103
宁夏 Ningxia	9513	6782	6674	6466	6848	- 2731	- 108	- 208	382	- 2665
新疆 Xinjiang	33975	31339	30389	29507	31255	- 2636	- 950	- 882	1749	- 2719
总计 Total	29348	27517	26709	26896	29340	- 1830	- 808	187	2444	- 8

由表 7 可知,CS_{林地} > CS_{草地} > CS_{耕地} > CS_{未利用地} > CS_{园地} > CS_{水域},2004—2012 年林地的 CS 为 0.48 ~ 0.53,即当林地的 VC 增加 1%时,该区域的 ESV 将增加 0.48% ~ 0.53%。

由图 4 可知,西北旱区内各地区的 CS 分布情况有所不同,内蒙古中西部、陕西中北部以及甘肃等地的 CS_{林地} 最高,林地的变化会引起该区域 ESV 较大

变化,故应注重加强林地资源的保护;青海、宁夏、新疆等地敏感性指数最高的为牧草地,说明牧草地为影响该区域 ESV 的主要土地利用类型。由图 4 和表 7 可知,ESV 对 VC 的敏感性指数都小于 1,这充分表明 ESV 对 VC 是缺乏弹性的,本文研究结果真实可信。

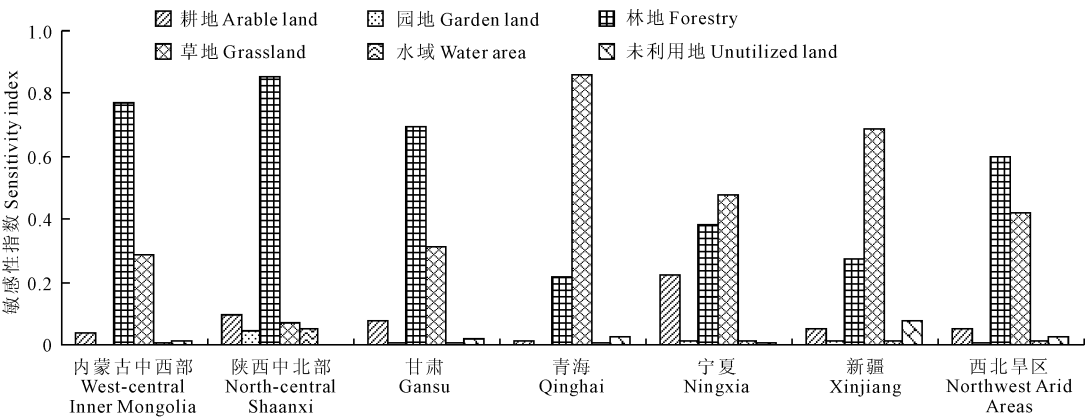


图 4 2012 年西北旱区各地区敏感性指数分布

Fig.4 Distribution of sensitivity indexes of each province in Northwest Arid Areas in 2012

表 7 2004—2012 年 ESV 敏感型指数变化

Table 7 Variances of sensitivity index of ESV during 2004—2012

土地利用类型 Land-use type	2004	2006	2008	2010	2012
耕地 Arable land	0.0481	0.0494	0.0499	0.0488	0.0434
园地 Garden land	0.0062	0.0066	0.0068	0.0066	0.0071
林地 Forestry	0.5057	0.4963	0.4844	0.4965	0.5378
草地 Grass land	0.4100	0.4173	0.4277	0.4177	0.3776
水域 Water area	0.0058	0.0059	0.0062	0.0060	0.0111
未利用地 Unutilized land	0.0242	0.0245	0.0251	0.0244	0.0230

4 讨 论

研究区的 ESV 的增加与土地利用的数量与结构关系密切,在满足土地利用多样性的前提下,能否保护好该区有利于 ESV 的主导土地利用类型,对当地的 ESV 有着至关重要的作用。林地资源能明显提升西北旱区的 ESV,因此应加大对林地资源的保护力度。

西北旱区的生态经济协调度处于轻度协调状态,反映出该地区总体的经济、环境矛盾关系。如能在更细微的尺度上进行 GDP 和 ESV 的时空划分,则能更精确地指导研究区生态和经济系统的耦合协调发展,也是今后研究的方向。

数据的准确性对生态系统服务价值的计算至关重要,然而它本身计算过程的复杂性以及其生态价值系数的精确计算的难度较大,导致研究结果一般都属于估算,虽然能在总体上反映出研究区域的生态环境变化的趋势,但要在更细的尺度上进行精确

计算仍有一定难度,需综合运用遥感解译、经济学和统计学等相关知识进行更为精确的研究。

本文仅从时间、空间两个维度对 ESV 进行分析,今后可从探索 ESV 变化的驱动力、ESV 预测回归等方面对西北旱区进行全方位分析,并对进一步改善西北旱区生态环境提出建议及对策。

5 结 论

本文借鉴前人研究成果,对西北旱区土地利用生态系统的 ESV 进行计算,并从时间和空间角度分析了其分异特征,主要研究结论如下:

(1) 从时间维度来看,西北旱区的 ESV 由 2004 年的 $3\,435.14 \times 10^9$ 元增加到 2012 年的 $3\,601.24 \times 10^9$ 元;除食物生产外,单项 ESV 都有所增长,表明该区域生态环境压力较小。从空间维度来看,各省区平均 ESV 分异明显,依次为内蒙古中西部 > 新疆 > 青海 > 陕西中北部 > 甘肃 > 宁夏,ESV 变化率依次为甘肃 > 陕西中北部 > 新疆 > 内蒙古中西部 > 青海 > 宁夏,说明甘肃、陕西中北部的 ESV 虽处于较低水平,但增长迅速,内蒙古中西部、新疆、青海的平均 ESV 较高,但增长态势较缓慢,宁夏的平均 ESV 及其增速都处于劣势。

(2) 研究期内西北旱区整体 ESV 有所提升,但人均 ESV 却有所下降,说明人口的增加在一定程度上减弱了总体 ESV 的增加,生态系统的人口负荷有不断增强的趋势,今后发展过程中还要注意保持好合适的人口数量,避免超出生态负荷。

(3) 西北旱区的生态环境和经济发展处于轻度协调状态,ESV 增长率低于经济增长率,虽然二者协调发展,但仍有恶化的潜力,今后仍需加强对生态环境的保护力度。

(4) 林地的 VC 指数较高,耕地和草地的 VC 指

数较低,林地的 ESV 不仅把减少的耕地及草地的 ESV 抵消掉,还使整体 ESV 有所升高,说明林地在西北旱区 ESV 中扮演着重要角色,它的减少将会使整体 ESV 急剧下降。这就要求政府及人民努力保护好林地资源,争取实现土地质量与数量的“双赢”。

参 考 文 献:

[1] 李 晶,任志远.陕北黄土高原土地利用生态服务价值时空研究[J].中国农业科学,2006,39(12):2538-2544.

[2] Costanza R, Arge R, Groot R. The Value of the world's ecosystem service and natural capital[J]. Nature, 1997,387(15):253-260.

[3] Chen M Q, Lu Y F, Ling L, et al. Drivers of changes in ecosystem service values in Ganjiang upstream watershed[J]. Land Use Policy, 2015,47(9):247-252.

[4] Li G D, Fang C L. Global mapping and estimation of ecosystem services values and gross domestic product: A spatially explicit integration of national 'green GDP' accounting[J]. Ecological Indicators, 2014, 46(11):293-314.

[5] 李 超,杜 哲,陈亚恒,等.环京津地区土地生态服务价值时空分异特征[J].土壤通报,2015,46(1):42-46.

[6] 张文海,赵 阳,余新晓,等.基于 LUCC 的黄土丘陵区生态服务价值动态演变研究[J].应用基础与工程科学学报,2013,3(6):442-450.

[7] 郭荣中,杨敏华.长株潭地区生态系统服务价值分析及趋势预测[J].农业工程学报,2014,30(5):238-244.

[8] 李文华,张 彪,谢高地.中国生态系统服务研究的回顾与展望[J].自然资源学报,2009,24(1):1-10.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 赵永华,张玲玲,王晓峰.陕西省生态系统服务价值评估及时空差异[J].应用生态学报,2011,22(10):1662-1672.

[12] 樊玉山,刘纪远.西藏自治区土地利用[M].北京:科学出版社,1994.

[13] 何 锋.长武县土地资源安全评价[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.

[14] 刘帅宾.基于土地利用变化的青海省生态服务价值研究[D].郑州:河南大学,2014.

[15] 黄贤金,濮励杰,彭补拙.城市土地利用变化及其响应:模型构建于实证研究[M].北京:科学出版社,2008.

(上接第 133 页)

[20] 任建跃.2,4-D,多效唑和氮肥混用对小麦光合作用的影响[J].现代农业科学,2008,15(3):19-21.

[21] Koeppel M K, Hirata C M, Brown H M, et al. Basis of selectivity of the herbicide rimsulfuron in maize[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2000,66(3):170-181.

[22] 刘小文,王秋霞,郭美霞,等.两种除草剂对紫茎泽兰光合特性的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(7):1247-1253.

[23] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982,(33):317-345.

[24] 罗亚勇,赵学勇,黄迎新,等.植物水分利用效率及其测定方法研究进展[J].中国沙漠,2009,29(4):648-651.

[25] 吴明根,刘海峰,韩云哲,等.除草剂玉宝防除玉米地杂草的效果[J].延边大学农学报,2000,22(4):270-274.

[26] Malhi S S, Lemke R, Wang Z H, et al. Nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions[J]. Soil and Tillage Research, 2006,90(12):171-183.

[27] 谢志坚,徐昌旭,刘光荣,等.不同剂量苄·丁和二氯喹啉酸对紫云英生长环境及其养分吸收累积的影响[J].草业学报,2014,23(5):201-207.

[28] Zhang Z H, Weaver S E, Hamill A S. Risks and reliability of using herbicides at below-labeled rates[J]. Weed Technology, 2000,14:106-115.

[29] 周汉章,刘 环,宋银芳,等.44%谷友 WP 对谷田杂草的防除及其对谷子产量的影响[J].中国农学通报,2011,27(30):135-141.

[30] 单正军,蔡道基,陈祖义.除草剂对植物光合作用和吸肥能力影响初探[J].农村生态环境,1993,2:47-50.

[31] 张 帆.丙酯草醚胁迫下油菜与小麦耐性机制及其生理信息的光谱模型构建[D].杭州:浙江大学,2009.

[32] Kieloch R, Rola H. Sensitivity of winter wheat cultivars to selected herbicides[J]. Journal of Plant Protection Research, 2010,50(1):35-40.

[33] 侯 珍,丛 聪,郭文磊,等.不同小麦品种对双氟磺草胺的耐药性差异及机理[J].农药学报,2012,14(3):260-266.

[34] 刘海卿,孙万仓,刘自刚,等.北方寒旱区白菜型冬油菜抗寒性与抗旱性评价及其关系[J].中国农业科学,2015,48(18):3743-3756.

[35] 苏李维,李 胜,马绍英,等.葡萄抗寒性综合评价方法的建立[J].草业学报,2015,24(3):70-79.