

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.01.024

景观格局及生态系统服务价值响应 ——以千阳县为例

张林^{1,2}, 李来新², 马东民¹, 张佩³

(1. 西安科技大学, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省煤层气开发利用有限公司, 陕西 西安 710065;
3. 陕西省煤田地质集团油气钻采公司, 陕西 西安 710054)

摘要:以陕西省千阳县作为研究区,提取 2000~2015 年的遥感数据为基础,参照土地利用程度指数、景观指数和数学模型,分析了景观格局的变化特征;根据生态系统服务价值的评估模型,定量分析了千阳县景观格局的变化对生态系统服务价值(ESV)的影响。结果表明,2000~2015 年,千阳县农耕地面积逐年减少,转变为草地和林地,未利用土地转移为建设和水利用地;研究区在 15 年间的景观连通性和均匀度得到提升,景观类型分布规则化,景观多样性上升,景观优势度降低;生态系统服务价值 15 年间逐年提高(4.40%),单项生态系统服务价值中以生物多样性保护、水源涵养、土壤形成与保护为主,土壤形成与保护价值占总比 18.25%;土地利用程度 4 期结果均高于国家平均水平,土地得到充分的利用;敏感性分析验证研究区生态系统服务价值 ESV 系数的估算结果准确可靠。结果表明,千阳县景观格局的变化影响着 ESV 的价值走向,影响着区域生态系统服务价值的大小。

关键词:自然地理;景观格局;景观指数;生态系统服务价值;ESV 评估

中图分类号:X826

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2022)01-0274-10

On the Landscape Pattern Change and the Ecological Service Value Response: Taking Qianyang County as an Example

ZHANG Lin^{1,2}, LI Laixin², MA Dongmin¹, ZHANG Pei³

(1. Xi'an University of Science and Technology, College of Geology and Environment, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
2. Shaanxi Coalbed Methane Development Co., Ltd, Xi'an 710065, Shaanxi, China; 3. Shaanxi Coal Geological
Oil & Gas Drilling Co., Ltd, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Taking Qianyang County in Shaanxi Province as the research area, this paper extracts remote sensing data from 2000 to 2015 and consults land use degree index, landscape index and mathematical model to analyze the change characteristics of landscape pattern. According to the evaluation model of ecosystem service value, the paper quantitatively analyzes the impact of the change of Qianyang County's landscape pattern on the ecological service value (ESV). The results show that from the year of 2000 to 2015, the farming area decreased year by year, and was transformed into grassland and woodland; the unused land was transferred to construction land

收稿日期:2021-04-02;修回日期:2021-07-12;网络发表日期:2021-12-06;责任编辑:穆华一

基金项目:宝鸡市千阳县地区生态系统与景观格局分析研究(2018)。

作者简介:张林(1984-),男,陕西礼泉人,高级工程师,博士,主要从事地质勘探、地热资源评价、煤田地质等方向。E-mail: 38590673@qq.com。

and water conservancy land. The landscape connectivity and uniformity of the study area in the past 15 years improve and the overall ecosystem service value show an increasing trend of 4.40%. The individual ecosystem service value is mainly based on biodiversity protection, water conservation, and soil formation and protection, with soil protection and formation value accounting for 18.25% of the total. The 4 phases of land use are higher than the national average, and the land is fully utilized. The sensitivity analysis verifies the estimated results of the ESV coefficient. The results show that the change of landscape pattern in Qianyang County affects the value trend of ESV and the value of regional ecosystem services.

Keywords: physical geography; landscape pattern; landscape index; ecosystem service value; ESV assessment

景观格局的演变是研究区域人类活动与经济发展的重要基础,量化景观指数是研究区域景观格局演变的基本方法(Robert Costanza, 1996; Harvey Alexander, 1999)。生态过程与系统形成及维持人类生存的自然环境及效应称为生态系统服务(谢高地等, 2003),两项指标均可体现系统内人类活动与自然界的变更历程,互相关联、互相平衡;景观格局的改变又影响生态系统过程、组分、结构及生物多样性等深度变化,对生态系统服务有着明显的影响(Shiliang Su et al., 2012; 王尧等, 2019; 张茂省等, 2019);景观类型变化的效率和结构受到生态系统服务的退化制约,影响着生态安全与人类健康(William R, 2011; 张茂省等, 2019)。因此,研究景观格局的变化及生态系统服务的响应能够有效地掌握区域生态环境变化趋势,合理分配利用土地,提高区域生态质量,促进人类与自然和谐可持续发展(高奇等, 2013; 王军等, 2015)。

生态系统服务价值评价是建立生态环境平衡政策、评判和衡量生态系统服务功能强弱的重要依据(王晓峰等, 2012, 丁月清等, 2019, 欧阳志云等, 1999)。国际上主要以 Costanza 等提出的基于效用价值理论和平衡值理论的生态系统服务价值评估模型,但该方法准确度较低,不符合中国国情。在中国,谢高地等(2008)参照国外的研究结果,对中国区域生态系统服务价值进行动态分析和估算,较明确地阐述了国内生态系统服务价值的立体展布规律;彭建等(2012)参考 Costanza 的研究认识,定量分析了景观格局变化在国内的生态效应;李志等(2007)利用生态服务价值,阐明了景观格局变化与生态服务效应的相关性;陈希等(2016)采用生态服务价值当量和景观指数协同方法,定量评价了不同类型景

观的生态服务价值和景观格局变化特征。

笔者以千阳县作为研究对象,将 RS、GIS 与景观指数相结合,基于生态系统服务价值的数学模型,定量化分析景观格局变化与生态系统服务价值的响应,并通过敏感性指数验证结果的可靠性。研究结果将对千阳县后续合理利用土地、分配优势资源、促进区域可持续发展提供科学依据;同时,为国家在黄土高原区域的生态保护、土地利用、资源分配等政策制定提供理论参考。

1 研究区概况

千阳县地处陕西关中西北部,属于俗称“七山二塬一分川”的高原区,全县人口约 13.20 万人,土地面积为 996.46 km²,属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均气温 11.90℃,年均降水 657.10 mm,千山横贯东西,为天然分水岭。景观类型主要为林地、建设用地、耕地、水体、草地和未利用地。千阳县是陕西贫困山区农业县,“人多地少、土地资源有限”是千阳县的实际情况(朱林生, 2013)。

2 数据来源及方法

2.1 数据来源及数据预处理

提取 2000 年、2010 年、2015 年 Landsat TM 及 2015 年 Landsat OLI 影像,对提取数据通过 ENVI 5.1 软件进行预处理、几何纠正、辐射纠正及图像匹配,进而人机交互解译。结合《土地利用现状分类》方法,参考现实情况和研究目标将研究区划分为耕地、建设用地、草地、林地、水体以及未利用地 6 大景观类型。通过实际踏勘,准确率达到 85% 以上。

2.2 研究方法

2.2.1 景观格局演变

(1)景观指数选取。景观指数能够全面提炼景观格局信息,将空间配置和结构组成特征通过简单定量指标进行反应(陈文波等,2002)。笔者提取斑块数(NP)、最大斑块指数(LPI)、斑块密度(PD)、斑块类型面积(CA)、斑块面积比例(PLAND)、平均斑块面积(AREA_MN)、景观形状指数(LSI)、聚集度(CLUMPY);景观水平提取:斑块密度(PD)、斑块数(NP)、香农多样性(SHDI)、香农均匀度(SHEI)、景观形状指数(LSI)、景观蔓延度(CONTAG)、丰富度(PR)、平均斑块面积(AREA_MN)、最大斑块指数(LPI)等指数对各景观类型破碎度、复杂度、面积等空间特征进行分析。

(2)土地利用程度。土地利用程度,研究区域土地利用的深度和广度是人类与自然环境和自然属性的综合反映(Morgan J L,2010;王秀兰等,1999)。

$$Lu = 100 \times \sum_{i=1}^n P_i \times Q_i \quad (1)$$

式中: L_u 为土地利用程度综合指数; P_i 为第*i*级土地利用程度指数; Q_i 为第*i*级土地利用程度面积百分比。

2.2.2 ESV 评估

目前,Costanza 的生态价值估算方法为主流生态系统服务价值评估方法,由于该方法在中国误差较大。所以基于 Costanza 评价模型,谢高地等提出了国内生态系统服务价值的估算价值当量因子表,公式如下:

$$VC_0 = \frac{1}{7} \times P \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \quad (2)$$

式中: VC_0 为ESV当量因子的价值量(元 $\text{hm}^{-2}\text{a}^{-1}$); P 为平均粮食价格(元/kg); Q 为研究区平均粮食产量(kg/hm^2); n 为年份数。价值当量与田地自然粮食产量的经济价值乘积可量化出景观类型单位面积生态价值。千阳县ESV的计算公式为:

$$ESV = \sum_{k=1}^n (A_k \times VC_k) \quad (3)$$

$$ESV_f = \sum (A_K \times VC_{fk}) \quad (4)$$

式中:ESV是生态系统服务价值(元); A_k 为景观类型*K*的面积(hm^2), VC_k 为ESV系数(元 $\text{hm}^{-2}\text{a}^{-1}$); ESV_f 为生态系统第*f*项服务功能价值; VC_{fk} 为景观类型*k*的第*f*项服务功能价值系数(元 $\text{hm}^{-2}\text{a}^{-1}$)。

2.2.3 敏感性验证

分析选取的VC是否匹配本区,提取敏感性指数进行验证。敏感性分析为获得模型的最佳解,无论模型中若干个参数变化多少,仍能保持原最优解的条件不变(高练等,2008)。基于敏感性指数来评价时间变化下VC与ESV的弹性关系;若敏感性指数 $CS > 1$,显示ESV对VC是富有弹性,其准确性越低,引用的VC越不准确;若 $CS < 1$,显示ESV对VC为缺乏弹性(李哲等2017),VC引入合适,结果可信。CS计算的公式如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \right| \quad (5)$$

式中:CS为敏感性指数,为VC变动1%引起的ESV的变化情况;VC为生态价值系数;*i*和*j*是初始价值系数与调整后系数;*k*代表景观类型。

3 结果与分析

3.1 景观类型面积变化特征及相互转化关系分析

研究区4期土地利用类型图见图1,结合表1显示2000~2015年各景观类型面积都发生了变化。其中,耕地面积总体变化量最大,并且在2000~2005年期间变化量达到峰值,总体变化量为-7378.30 hm^2 ;草地面积先增后减,整体面积保持增加趋势,总体变化量为3383.40 hm^2 ;林地面积逐年上升,总体变化量为3705.42 hm^2 ;建设用地面积保持增长态势,其增长峰值在2005~2010年间变化量为182.48 hm^2 ;水体面积先增后减,总体面积增加,总体变化量为191.66 hm^2 ;未利用地面积总体减少,从2005年开始减弱趋势放缓,总体变化量为-186.72 hm^2 。根据表2,发现研究区近15年间耕地为转出面积最大的景观类型,占总计90.51%,与之相对应的转入面积最大的类型分别为林地和草地,分别占总转入面积的47.31%和43.20%。该结果表明,研究区受政府政策影响,为了恢复自然生态,防止水土流失及人类破坏,将部分不适宜耕种的耕种区和坡度较大区转出为草地和林地。其次转出为建设用地,大部分未利用地转移为水体,使未利用地得到了充分的利用。此外,随着大面积的耕地分散转移,水体面积的增加以及未利用地的充分利用,研究区的整体生态环境逐步趋好,生态系统服务功能得到提高。

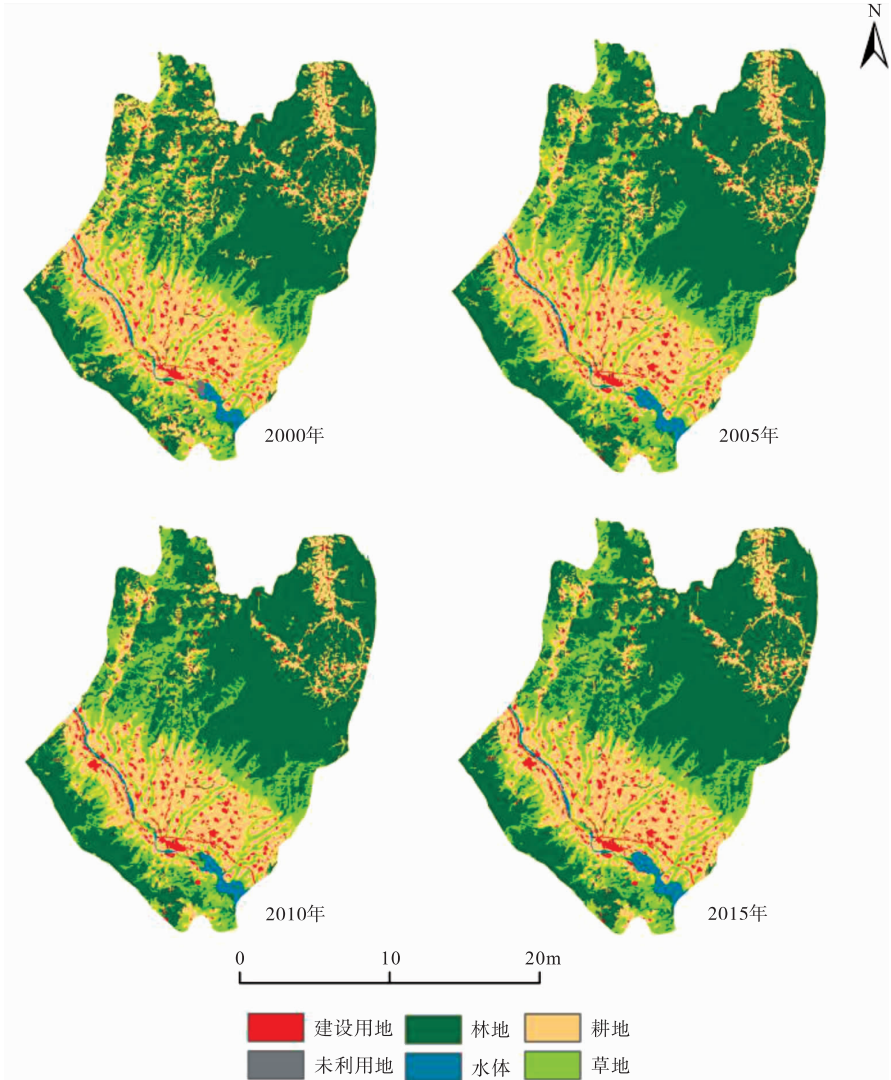


图 1 千阳县 2000~2015 年 4 期土地利用类型图

Fig. 1 Maps of land use type of Qianyang County from 2000 to 2015

表 1 各景观类型面积变化量及百分比表

Tab. 1 Area change and percentage of landscape type

景观类型	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年		面积变化量(hm ²)			
	面积 (hm ²)	百分比 (%)	面积 (hm ²)	百分比 (%)	面积 (hm ²)	百分比 (%)	面积 (hm ²)	百分比 (%)	2000~ 2005 年	2005~ 2010 年	2010~ 2015 年	2000~ 2015 年
耕地	34 384.801	34.119	28 875.980	28.653	27 179.500	26.970	27 006.500	26.798	−5 508.820	−1 696.480	−173.000	−7 378.301
草地	14 649.600	14.536	17 655.900	17.520	18 205.801	18.065	18 033.000	17.894	3 006.301	549.900	−172.801	3 383.400
林地	48 285.898	47.913	50 705.430	50.314	51 804.887	51.405	51 991.318	51.590	2 419.532	1 099.457	186.431	3 705.420
建设用地	2 014.230	1.999	2 096.858	2.081	2 279.340	2.262	2 298.770	2.281	82.628	182.482	19.430	284.540
水体	1 251.790	1.242	1 422.070	1.411	1 289.590	1.280	1 443.450	1.432	170.280	−132.480	153.860	191.660
未利用地	192.150	0.191	22.230	0.022	19.350	0.019	5.430	0.005	−169.920	−2.880	−13.920	−186.720
合计	100 778.469	100	100 778.469	100	100 778.469	100	100 778.469	100	0	0	0	0

表 2 2000~2015 年景观类型面积转移矩阵表
Tab. 2 Landscape type area transfer matrix in 2000~2015

2000 年 景观类型	2015 年 景 观 类 型						转出面积 (hm ²)	转出比例 (%)
	耕地	草地	林地	建设用地	水体	未利用地		
耕地	26 956.150	3 220.920	3 920.400	271.500	9.810	—	7 422.630	90.510
草地	13.950	14 450.650	115.020	11.340	54.720	—	195.030	2.380
林地	3.600	357.030	47 932.540	—	—	1.530	362.160	4.420
建设用地	—	—	—	2 013.190	0.450	—	0.450	0.005
水体	24.390	1.350	2.610	3.510	1 221.660	—	31.860	0.390
未利用地	—	—	28.530	—	160.020	3.600	188.550	2.300
转入面积(hm ²)	41.940	3 579.300	4 066.560	286.350	225.000	1.530	8 200.680	—
转入比例(%)	0.510	43.650	49.590	3.490	2.740	0.020	—	100

3.2 景观类型水平变化特征分析

从各景观类型的景观指数变化情况分析(表 3),2000~2015 年,随着人类活动的不断增加,耕地各景观指数呈下降趋势,下降为 5.99%,显示耕地景观类型趋向合理,相比聚集度指数,耕地景观类型破碎化程度减小,连通性提高。作为研究区的优势景观类型的林地与草地指数变化趋势相似,两者斑块数和斑块密度指数整体下降,但都在 2015 年有小

幅回升,说明林地景观类型与草地景观类型整体形状趋于简单规则。在 2015 年由于自然及外界因素的干扰,破碎度随之提升,景观异质性增强。随着城乡城市化加速发展,建设用地的最大斑块指数与斑块面积比例逐年提高,显示人类活动的干扰强度增强,同时未利用地得到了有效的利用。水体在研究区内面积有所减少,聚集度和景观形状指数降幅最大,说明在人类活动的干预下,该区域水体破碎程度严重。

表 3 2000~2015 年千阳县景观类型水平指数表
Tab. 3 landscape type level index, 2000~2015 Qianyang county

类型	年份	斑块类型 面积 (CA/km ²)	斑块面积 比例 PLAND(%)	斑块数 NP	斑块密 度 PD	最大斑 块指数 LPI(%)	景观形 状指数 LSI	平均斑块面积 AREA_MN(km ²)	聚集度 CLUMPY
林地	2 000	48 294.630	47.922	375	0.372	30.209	32.267	128.786	0.918
	2 005	50 712.120	50.322	350	0.347	31.712	28.569	144.892	0.926
	2 010	51 811.200	51.411	339	0.336	33.071	28.130	152.835	0.926
	2 015	51 999.030	51.598	353	0.350	34.208	28.084	147.306	0.926
草地	2 000	14 645.610	14.533	465	0.461	1.403	50.255	31.496	0.857
	2 005	17 649.000	17.513	387	0.384	1.997	49.950	45.605	0.866
	2 010	18 198.270	18.058	384	0.381	2.033	49.558	47.391	0.868
	2 015	18 029.880	17.891	426	0.423	1.957	49.661	42.324	0.867
耕地	2 000	34 378.650	34.113	532	0.528	21.309	45.533	64.622	0.890
	2 005	28 874.790	28.652	536	0.532	19.113	41.994	53.871	0.898
	2 010	27 179.370	26.970	506	0.502	18.642	39.645	53.714	0.904
	2 015	26 998.020	26.790	512	0.508	18.585	39.548	52.731	0.904

续表 3

类型	年份	斑块类型 面积 (CA/km ²)	斑块面积 比例 PLAND(%)	斑块数 NP	斑块密 度 PD	最大斑 块指数 LPI(%)	景观形 状指数 LSI	平均斑块面积 AREA_MN(km ²)	聚集度 CLUMPY
建设用地	2 000	2 013. 570	1. 998	342	0. 339	0. 180	30. 253	5. 888	0. 799
	2 005	2 096. 190	2. 080	345	0. 342	0. 204	30. 307	6. 076	0. 802
	2 010	2 278. 620	2. 261	328	0. 326	0. 231	29. 969	6. 947	0. 812
	2 015	2 299. 410	2. 282	331	0. 328	0. 231	30. 013	6. 947	0. 813
水体	2 000	1 253. 520	1. 244	23	0. 023	0. 804	7. 895	54. 501	0. 940
	2 005	1 423. 800	1. 413	21	0. 021	0. 974	7. 873	67. 800	0. 944
	2 010	1 291. 320	1. 281	22	0. 022	0. 863	7. 688	58. 696	0. 943
	2 015	1 446. 660	1. 436	21	0. 021	1. 014	7. 185	68. 889	0. 950
未利用地	2 000	192. 150	0. 191	7	0. 007	0. 167	3. 602	27. 450	0. 942
	2 005	22. 230	0. 022	5	0. 005	0. 008	4. 031	4. 446	0. 790
	2 010	19. 350	0. 019	4	0. 004	0. 008	3. 733	4. 838	0. 795
	2 015	5. 130	0. 005	5	0. 005	0. 002	3. 000	1. 026	0. 674

3.3 景观级别水平特征分析

从表 4 中看出,研究区 2000~2015 年景观形状指数持续减少,说明该研究区内人类的活动干预使景观形状趋于集中,但其斑块数和最大斑块指数表现下降趋势,总体显示为破碎趋势,景观优势度降低;蔓延度持续上升,表示优势斑块连通性较好,其区域逐步扩大。区内香农均匀度指数变化趋势与香农多样性相近体现为先升后降再升,总体表现有所提高,说明 2000 年景观多样性和均匀度最小。此时研究区内各景观斑块类型分布最不均匀,多样性差,连通性较弱;直到 2015 年,景观多样性与均匀度较

2000 年有所提升,说明研究区内各景观斑块类型分布趋于均匀,景观的优势度逐渐降低,多样性提高。

3.4 土地利用程度的变化趋势数据分析

由研究区 4 期土地利用程度指数(表 5)看出,从 2000~2015 年间,土地利用程度指数呈逐步上升趋势,并且均高于全国平均值 231,2015 年土地利用程度指数最大。说明近 15 年,千阳县在土地利用层面有了巨大改善,土地得到有效地利用,并且土地利用趋于均匀,土地利用多样性增强,景观的功能性得到了提升。

表 4 2000~2015 年千阳县景观级别水平指标表
Tab. 4 Landscape Level Indicators,2000~2015 Qianyang County

年份	斑块数 NP	斑块密 度 PD	最大斑块 指数 LPI(%)	景观形状 指数 LSI	平均斑块面积 AREA_MN (km ²)	蔓延度 CONTAG	景观丰 富度 PR	香农多 样性 SHDI	香农均 匀度 SHEI
2 000	1 744	1. 731	30. 209	37. 479	57. 786	59. 680	6	1. 144	0. 639
2 005	1 644	1. 631	31. 712	35. 274	61. 301	59. 914	6	1. 151	0. 643
2 010	1 583	1. 571	33. 071	34. 400	63. 663	60. 204	6	1. 148	0. 641
2 015	1 648	1. 635	34. 208	34. 306	61. 152	60. 173	6	1. 150	0. 642

表 5 2000~2015 年土地利用程度指数表
Tab. 5 Land use index from 2000 to 2015

年份	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
土地利用程度指数	251. 500	254. 500	255. 900	256. 100

3.5 生态系统服务价值研究

3.5.1 总体生态系统服务价值的变化

根据计算的研究期生态服务价值(表 6)可以看出,研究区近 15 年总体 *ESV* 值呈现上升趋势,总体上升 4.30%。但从各年变化率看,这种上升趋势在明显减弱。从各景观类型角度上来说,2000~2015 年期间,除耕地和未利用地的 *ESV* 值下降以外,其他各景观类型的 *ESV* 值均有不同程度的上升。其中,林地的 *ESV* 值增加 83.09×10^5 元,增幅为 7.67%;水体的 *ESV* 值增加 9.05×10^5 元,增幅为 15.31%;草地的 *ESV* 值增加 25.14×10^5 元,增幅

为 23.10%,是各景观类型中增幅最大的景观类型;其次耕地的 *ESV* 值下降 52.32×10^5 元,降幅达 21.46%;而未利用地的 *ESV* 值降幅最大,达到 97.17%,下降 0.08×10^5 元。总体上说,研究区的总体 *ESV* 值上升 64.87×10^5 元,变化率为 4.34%,虽然未利用地的 *ESV* 值降幅最大,但未利用地 *ESV* 值基数较低,产生的影响并不大,而耕地 *ESV* 值的下降直接影响到林地与草地 *ESV* 值的上升,对研究区总体 *ESV* 值的增加起着关键引导作用。

3.5.2 单项生态系统价值变化

结合表 7 分析单项生态系统服务价值的变化。

表 6 2000~2015 年不同景观类型的生态系统服务价值及变化量表
Tab. 6 Value and change of ecosystem services of different landscape types from 2000 to 2015

景观类型	<i>ESV</i> ($\times 10^5$) (元/a)				2000~2005 年		2005~2010 年		2010~2015 年		2000~2015 年	
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	变化量 ($\times 10^5$ 元)	变化率 (%)	变化量 ($\times 10^5$ 元)	变化率 (%)	变化量 ($\times 10^5$ 元)	变化率 (%)	变化量 ($\times 10^5$ 元)	变化率 (%)
林地	1 082.720	1 136.974	1 161.626	1 165.807	54.254	5.010	24.652	2.170	4.180	0.360	83.087	7.670
草地	108.845	131.182	135.267	133.983	22.337	20.520	4.086	3.110	-1.284	-0.950	25.138	23.100
耕地	243.831	204.767	192.736	191.510	-39.064	-16.020	-12.030	-5.880	-1.227	-0.640	-52.321	-21.460
水体	59.106	67.146	60.890	68.155	8.040	13.600	-6.255	-9.320	7.265	11.930	9.050	15.310
未利用地	0.083	0.010	0.008	0.002	-0.073	-88.430	-0.001	-12.960	-0.006	-71.940	-0.080	-97.170
总计	1 494.584	1 540.078	1 550.529	1 559.457	45.493	3.04	10.451	0.680	8.928	0.580	64.873	4.300

表 7 2000~2015 年研究区生态系统价值变化对比表
Tab. 7 Comparison of changes in ecosystem value in the research area from 2000 to 2015

景观类型	<i>ESV</i> ($\times 10^5$) (元/a)				2000~2005 年		2005~2010 年		2010~2015 年		2000~2015 年	
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	变化量 ($\times 10^5$ 元)	变化率 (%)	变化量 ($\times 10^5$ 元)	变化率 (%)	变化量 ($\times 10^5$ 元)	变化率 (%)	变化量 ($\times 10^5$ 元)	变化率 (%)
气体调节	203.104	211.436	214.966	215.405	8.332	4.100	3.530	1.670	0.439	0.200	12.301	6.060
气候调节	179.318	183.848	185.790	186.062	4.530	2.530	1.942	1.060	0.272	0.150	6.744	3.760
水源涵养	217.979	228.560	228.804	232.389	10.581	4.850	0.244	0.110	3.584	1.570	14.410	6.610
土壤形成与保护	274.106	281.550	284.507	284.650	7.444	2.720	2.957	1.050	0.142	0.050	10.544	3.850
废物处理	165.860	167.062	163.949	166.550	1.202	0.720	-3.112	-1.860	2.601	1.590	0.690	0.420
生物多样性保护	206.247	214.067	216.784	217.477	7.820	3.790	2.718	1.270	0.693	0.320	11.230	5.440
食物生产	44.883	40.419	38.946	38.750	-4.464	-9.950	-1.472	-3.640	-0.196	-0.500	-6.132	-13.660
原材料	133.129	139.176	141.962	142.435	6.047	4.540	2.786	2.000	0.472	0.330	9.305	6.990
娱乐文化	69.959	73.960	74.820	75.741	4.002	5.720	0.859	1.160	0.921	1.230	5.782	8.270
合计	1 494.584	1 540.078	1 550.529	1 559.457	45.493	3.040	10.451	0.680	8.928	0.580	64.873	4.300

2000~2015 年间,研究区食物生产功能价值的降幅最大,下降 6.13×10^5 元,降幅达 13.66%,价值增长最多的是生物多样性,增涨 11.23×10^5 元,增幅达 6.91%。2000~2005 年期间,各单项功能价值变化幅度最为明显,其中水源涵养服务价值增长最多,增涨达 10.58×10^5 元,增幅达 4.85%。2005~2015 年期间,各单项功能价值变化趋势减弱,直到 2010 年后,各单项生态系统服务价值的变化率达历年最低,浮动最小。通过对区内整体单项组成的分析,对各单项服务功能价值总结为:土壤形成与保护>水源涵养>生物多样性保护>气体调节>气候调节>废物处理>原材料>娱乐文化>食物生产。土壤形成与保护服务功能价值最高,占比为 18.25%,其次为水源涵养服务功能,占总体服务价值的 14.90%,第三是生物多样性保护、气体调节、气候调节服务功能,三者合计占总体服务价值的 39.69%。食物生产占总体服务价值的比例最低,仅为 2.49%,主要原因可能是林地与草地类型的增加,提高了区域生态环境质量,直接影响了土壤形成与保护和水源涵养服务功能,使得土壤形成与保护及水源涵养服务价值得到提高。此外,由于部分耕地类型转变为林地与草地,加之政府部门推动现代化城镇建设,以及娱乐文化服务价值的提高,影响到食物生产能力的减弱,导致该区域食物生产服务价值的下降。

3.6 敏感性分析

对生态服务价值系数调整 50%后的各景观类型,可以看出变化后敏感性指数(图 2)。总体景观类型的敏感性指数均小于 1。2000~2015 年期间林地的敏感性指数最大,其敏感性指数均大于 0.51,并逐年增长,代表当林地的生态服务价值系数改变

1%时,其总生态服务价值至少改变 0.51%;此外,水体的敏感性指数最低,均小于 0.10,代表当水体的生态服务价值系数改变 1%时,相应总生态服务价值改变不超过 0.06%。综合分析,区内各景观类型的敏感性指数均小于 1,显示提取的各价值系数为非弹性,适合其实际情况,生态服务价值预测结果可靠。

4 结论

(1)从景观格局来说,2000~2015 年间千阳县景观类型变化明显,耕地转移为 90.51%,以草地与林地转入为主,转入面积分别为 $3\,383.40\text{ hm}^2$ 和 $3\,705.42\text{ hm}^2$ 。此外,耕地景观类型形状趋于规则,聚集度及连通性增强。林地与草地景观类型的斑块数和斑块密度指数整体下降,2010 年后又有小幅提升,说明破碎度提升,景观异质性增强。此外,建设用地的斑块面积比例和最大斑块指数都在逐年增加,同期水体的景观形状指数和聚集度有所下降,显示该区水体存在严重程度破碎,充分利用了未利用地。分析景观级别水平变化特征,2000~2015 年斑块数和最大斑块指数一直呈现减少趋势,整体趋势显示为破碎,景观优势度降低。结合香农均匀度、香农多样性、蔓延度指数的上升,显示近 15 年间千阳县景观均匀度、多样性和连通性得到提升,景观类型分布均匀,景观优势度降低,景观多样性提高。

(2)采用生态系统服务价值的价值当量因子方法,结合多项景观指数特征参数,通过敏感性指数变化分析得出:从生态系统服务价值来说,近 15 年的千阳县 ESV 值呈上升趋势。2000~2015 年间,除耕地与未利用地的 ESV 值呈下降趋势外,其他景观类型的 ESV 值均有不同程度的上升,其中草地的 ESV 值增幅最大。从单项 ESV 值的变化情况来看,近 15 年间的食物生产功能价值降幅最大,生物多样性保护、水源涵养、土壤形成与保护功能价值构成区内主要生态服务价值,土壤形成与保护占总计 18.25%。ESV 值的变化与景观格局的变化息息相关,景观类型的转变影响着 ESV 值的价值走向,决定着区域生态服务价值的大小。

(3)敏感性验证显示,区内 ESV 值对 VC 缺乏弹性,选用价值系数符合其实际情况,预测 ESV 值结果可靠。近 15 年间,土地利用程度指数逐渐提

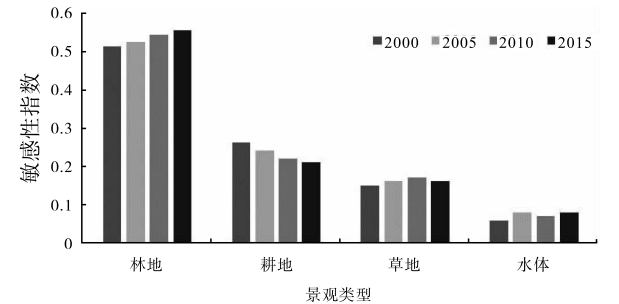


图 2 2000~2015 年生态系统价值敏感性指数趋势图

Fig. 2 Trend of ecosystem value sensitivity index from 2000 to 2015

高,表明土地利用趋于稳定和规范,土地得到了有效利用。

(4)ESV 值估算模型在准确性和时效性上仍有待提高,较适用于长时间序列中的生态系统服务价值估算,不同的生态服务功能有其不同的功能量化估算公式,不同的生态服务功能估算公式又适用于不同的生态系统,如何更好地整合和提高现有的生态服务功能估算方法,并将生态服务功能价值量化是下一步需要研究和探索的重点。

参考文献(References):

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(02):189-196.

XIE Gaodi,LU Chunxia,LENG Yunfa,et al. The value evaluation of the ecological assets of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Natural Resources, 2003 (02): 189-196.

王尧,张茂省,杨建锋. 中国地质环境脆弱性评价[J]. 西北地质,2019,52(2):198-206.

WANG Yao,ZHANG Maosheng,YANG Jianfeng. Evaluation Research on the Fragility of Geological Environment in China[J]. Northwestern Geology,2019,52(2): 198-206.

张茂省,王尧,薛强. 资源环境承载力评价理论方法与实践[J]. 西北地质,2019,52(2):1-11.

ZHANG Maosheng,WANG Yao,XUE Qiang. Evaluation of Resource Environment Carrying Capacity: Theoretical Method and Practice[J]. Northwestern Geology,2019, 52(2):1-11.

张茂省,薛强,贾俊,等. 山区城镇地质灾害调查与风险评价方法与实践[J]. 西北地质,2019,52(2):125-135.

ZHANG Maosheng,XUE Qiang,JIA Jun, et al. Methods and Practices for the Investigation and Risk Assessment of Geo-hazards in Mountainous Towns[J]. Northwestern Geology,2019,52(2):125-135.

高奇,师学义,黄勤,等. 区域土地利用变化的生态系统服务价值响应[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(S2): 308-312.

GAO Qi,SHI Xueyi,HUANG Qin, et al. Ecosystem service value response of regional land use change[J]. China

Population·Resources and Environment,2013,23(S2): 308-312.

王军,赖耀龙. 土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(05):798-808.

WANG Jun, DUN Yaolong. Summary of research on the impact of land use change on ecosystem services[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2015,24 (05):798-808.

丁月清,杨建华,洪增林,等. 面向“三区三线”划定的城市群资源环境承载力评价方法研究——以关中平原城市群评价为例[J]. 西北地质,2019,52(3):223-230.

DING Yueqing,YANG Jianhua,HONG Zenglin, et al. Study on Evaluation Methods of Resource and Environmental Carrying Capacity of Urban Agglomerations based on the Definition of “Three Districts and Three Lines”: Example from Guanzhong Plain Urban Agglomeration Evaluation[J]. Northwestern Geology,2019,52(3):223-230.

王晓峰,吕一河,傅伯杰. 生态系统服务与生态安全[J]. 自然杂志,2012,34(05):273-276+298.

WANG Xiaofeng,LÜ Yihe,FU Bojie. Ecosystem services and ecological security [J]. Nature Journal, 2012, 34 (05):273-276+298.

欧阳志云,王如松,赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报,1999(05):635-640.

OUYANG Zhiyun,WANG Rusong,ZHAO Jingzhu. Ecosystem service function and its ecological economic value evaluation[J]. Journal of Applied Ecology, 1999 (05): 635-640.

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(05):911-919.

XIE Gaodi,ZHEN Lin,LU Chunxia, et al. A Valuation Method of Ecosystem Services Based on Expert Knowledge [J]. Journal of Natural Resources, 2008 (05): 911-919.

彭建,吴健生,潘雅婧,等. 基于 PSR 模型的区域生态持续性评价概念框架[J]. 地理科学进展,2012,31(07): 933-940.

PENG Jian,WU Jiansheng,PAN Yajing, et al. Conceptual framework of regional ecological sustainability evaluation based on PSR model[J]. Progress in Geographical Sciences,2012,31(07):933-940.

李志,刘文兆,杨勤科,等. 黄土高塬沟壑区小流域土地利用

- 变化及其生态效应分析[J]. 应用生态学报, 2007(06): 1299-1304.
- LI Zhi, LIU Wenzhao, YANG Qinke, et al. Analysis of land use change and its ecological effects in small watersheds in the loess high plateau gully area[J]. The Journal of Applied Ecology, 2007(06): 1299-1304.
- 陈希, 王克林, 祁向坤, 等. 湘江流域景观格局变化及生态服务价值响应[J]. 经济地理, 2016, 36(05): 175-181.
- CHEN Xi, WANG Kelin, QI Xiangkun, et al. Landscape pattern change and ecological service value response in the Xiangjiang River Basin[J]. Economic Geography, 2016, 36(05): 175-181.
- 朱林生. 千阳县发展现代苹果产业的形势分析与对策[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- ZHU Linsheng. Situation analysis and countermeasures for the development of modern apple industry in Qianyang County[D]. Yangling: Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2013.
- 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究[J]. 应用生态学报, 2002(01): 121-125.
- CHEN Wenbo, XIAO Duning, LI Xiuzhen. Study on classification, application and construction of landscape index [J]. Journal of Applied Ecology, 2002(01): 121-125.
- 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999(01): 83-89.
- WANG Xiulan, BAO Yuhai. Discussion on Research Methods of Land Use Dynamic Change [J]. Progress in Geographical Sciences, 1999(01): 83-89.
- Morgan J L, Gergel S E. Quantifying historic landscape heterogeneity from aerial photographs using object-based analysis. Landscape Ecology, 2010, 25(7): 985-998.
- 高练, 周勇. 武汉市土地利用/土地覆盖变化的生态环境效应分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(S1): 73-77.
- GAO Lian, ZHOU Yong. Analysis of the ecological environmental effects of land use/land cover changes in Wuhan [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(S1): 73-77.
- 李哲, 张飞, Hsiang-te Kung, 等. 1998—2014 年艾比湖湿地自然保护区生态系统服务价值及其时空变异[J]. 生态学报, 2017, 37(15): 4984-4997.
- LI Zhe, ZHANG Fei, Hsiang-te Kung, et al. Ecosystem service value and its spatio-temporal variation of Aibi Lake Wetland Nature Reserve from 1998 to 2014 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(15): 4984-4997.
- Harvey Alexander. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems [J]. Corporate Environmental Strategy, 1999, 6(2).
- Robert Costanza. Ecological Economies: reintegrating the study of humans and nature [J]. Nature Sciences Société, 1997, 5(2).
- Shiliang Su, Rui Xiao, Zhenlan Jiang, et al. Characterizing landscape pattern and ecosystem service value changes for urbanization impacts at an eco-regional scale [J]. Applied Geography, 2012, 34.
- William R. Gascoigne, Dana Hoag, Lynne Koontz, Brian A. Tangen, Terry L. Shaffer, Robert A. Gleason. Valuing ecosystem and economic services across land-use scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA [J]. Ecological Economics, 2011, 70(10).