

延安市退耕对生态的影响及其人文驱动因素分析

杜国明^{1,2}, 孙晓兵¹, 刘彦随²

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要:在对延安市生态退耕特征分析的基础上,阐释了其对生态系统服务功能的影响,并借助 STIRPAT 模型探究了生态退耕过程中耕地面积变化与其人文驱动因素的定量关系。研究表明:2000—2013 年延安市以耕地、林地、草地为主要景观类型,而耕地面积大幅度减少,林地、草地面积稳步增加,且耕地主要转化为林地、草地,分别占其转出量的 28.627%,66.664%;延安市 2000—2013 年生态服务价值稳步增加,增长率为 7.624%,年均增长量为 1.416 亿元,而耕地、草地、林地生态系统服务价值贡献率依次递增,建设用地比重逐渐增大,水域及荒漠则波动变化,且单项生态系统服务功能值变异系数逐渐降低,各项生态服务功能呈现均衡化发展趋势;人口数量增加、社会经济增长、产业结构调整对耕地面积减少具有积极作用,而非农业人口数量增加及农村经济水平提升能够促进耕地面积的增加,各驱动因素综合影响着耕地面积变化及生态退耕过程与生态系统结构,并对区域生态系统服务功能影响显著。

关键词:生态退耕;生态系统服务;人文驱动因素;延安市

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)03-0233-07

Analysis of Ecological Restoration on Ecosystem Services and Its Human Driving Factors in Yan'an City

DU Guoming^{1,2}, SUN Xiaobing¹, LIU Yansui²

(1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract:Based on the analysis of the ecological restoration characteristics of Yan'an City, we explained its impact on the ecosystem service function, and used the STIRPAT model to explore the quantitative relationship of ecological restoration process of cultivated land change and human driving factors. The results show that the main landscape pattern of Yan'an City in 2000—2013 was cultivated land, woodland, grassland, while the cultivated area reduced greatly, forestland and grassland area increased steadily. The forestland and grassland mostly resulted from the conversion of the cultivated land, which accounted for 28.627% and 66.664% of its changing amount, respectively. The ecosystem service value of Yan'an City has steadily increased during the period from 2000 to 2013, of which the growth rate was 7.624%, and the average annual growth amount was 141.6 million Yuan. The ecosystem service value contribution rates of arable land, grassland, forestland were increasing, and the proportion of construction land increased gradually, but the water body and desert were fluctuation. On account of the coefficient of variation decreasing, the ecological service function showed the development trend of equalization. The increasing population, social economic growth and industrial structure adjustment have the positive effect on decrease of arable land area, but the increase of non-agricultural population and the level of the rural economy can promote the cultivated land growth and the effective utilization of cultivated land. All driving factors combined to affect the change of cultivated land area, the ecological restoration and the structure of ecosystem, then the influence of the regional ecosystem services is notable.

Keywords:ecological restoration; ecosystem services; human driving factors; Yan'an City

土地利用是一个自然要素与社会经济要素综合作用的复杂过程^[1],不同因素直接或间接影响着土地利用变化,致使土地利用形式及程度具有差异性^[2],从而对包括生态服务在内的土地利用系统功能产生显著影响^[3]。生态退耕主要是以生态恢复为目的,根据区域社会经济和自然环境需求对不宜耕农田进行科学、有序的退耕还林、还草、还水等过程^[4]。生态退耕会引起区域土地利用结构发生改变,进而影响区域生态系统服务功能^[3-4],因此,探究生态退耕对生态系统服务功能的影响与揭示生态退耕过程中耕地变化的驱动因素对于改善区域生态服务功能及协调区域系统的人地关系具有重要意义。

生态系统服务是指生态系统的结构、过程和功能所形成的维持人类生存与发展的自然环境与效用,以及直接或间接提供的产品与服务^[5-6]。国内外学者对生态系统服务研究由来已久^[5-10],1997年 Costanza 等^[8]阐释了自然资本与生态服务功能之间的关系,并用生态服务价值衡量生态系统功能,以货币化形式表征不同土地利用变化对生态服务功能的影响。已有研究主要从全球、国家、省域、县域及流域等尺度从耕地^[11]、林地^[12]、草地^[13]、湿地^[14]、沙漠^[15]等方面探究其生态服务价值的时空差异,揭示其土地利用结构变化对生态服务价值的影响,但由人文因素作用强烈的生态退耕等工程对区域生态系统服务功能的影响及其驱动因素研究相对较少。

20世纪50—60年代,在新型农业发展模式的推动下,全国实行大范围的开荒屯田,耕地面积迅速增加。到20世纪末期,过度的土地开垦致使社会经济与自然环境矛盾日益凸显,生态环境质量不断恶化^[16-17]。为保障区域生态安全及提高环境质量,1999年我国开始实行生态退耕政策,区域土地利用结构逐步有所优化,生态环境质量也随之不断改善。黄土高原自古以来水土流失情况严重,加之过度开垦致使区域生态环境与社会经济的矛盾更加尖锐^[17]。因而,黄土高原作为我国生态退耕的主要区域,其生态环境质量随着生态退耕的持续而有所改善,剖析生态退耕对生态系统服务功能的影响对于生态环境保护及资源的可持续利用有着积极的作用。延安市作为黄土高原生态退耕的重点示范区,根据其区域土地利用现状及特点,积极响应国家生态退耕政策,区域生态环境质量显著提高^[17-18]。本文以位于黄土高原中南部、生态退耕显著的延安市为研究区,在分析土地利用变化特征的基础上,探究生态退耕对生态系统服务功能的影响,通过 STIRPAT 模型对生态退耕过程中引起耕地面积变化的人文因素进行定量分析,旨在阐释延

安市自生态退耕以来生态系统服务功能演变过程及其人文驱动因素,并为其进行合理高效地生态退耕及生态环境保护提供科学借鉴。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

延安市位于黄土高原中南部,陕西省北部,黄河中游,地处北纬 $35^{\circ}20'37''$ — $37^{\circ}29'29''$,东经 $107^{\circ}38'57''$ — $110^{\circ}32'44''$,土地面积为 369.099 万 hm^2 ,辖 1 区 12 个县。延安地势西北高东南低,平均海拔 1 200 m,地貌以高原、丘陵为主,地形以塬、梁、峁为主。属半湿润半干旱的大陆性季风气候,四季分明、昼夜温差大,年均温度 9.9°C ,1 月平均气温 -5.5°C ,7 月平均气温 23.1°C ,年日照时数为 2 300~2 700 h,无霜期 170 d。区域内有黄河、北洛河、延河、清涧河、仕望河及汾川河等河流及支流,年均降水约为 537 mm,且降水时空分布不均,雨季多集中于 6—9 月份,降雨量从南部最高 650 mm 到北部最低 380 mm 依次递减。土壤从南向北依次为淋溶褐土、褐土、石灰性褐土、褐土性土、粘化黑垆土、黄壤土、黑垆土、黄绵土、沙黑垆土、沙壤质黄绵土。延安市 2000 年人口数量为 196.640 万人,2013 年人口数量为 237.776 万人,年均增长率为 14.7‰,而其 GDP 由 130.630 亿元增加为 1 354.140 亿元,年均增长率为 19.708%。

1.2 数据来源

基础数据主要包括 2000 年、2005 年、2013 年延安市土地利用数据及相关统计资料。其中,2000 年、2005 年土地利用数据主要来自于中国科学院“全国土地利用 1:10 万数据库”,而 2013 年土地利用数据主要经过人机交互式目视解译而得。根据延安市土地利用状况将其类型划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地(包括居民点、城镇、工矿用地)及荒漠 6 类。通过选取云量较少且全覆盖的 2013 年 Landsat8 TM 影像,由 30 m 分辨率的绿色、红色、近红外波段与 15 m 分辨率的全色波段融合成 15 m 分辨率的标准假彩色影像,经过几何校正、图像增强等过程,以 2005 年为基础数据进行目视判读提取 2013 年土地利用数据,并结合野外实地勘测进行检验,地类解译精度不低于 95%。研究所用的统计数据主要来自于 2001—2014 年《陕西统计年鉴》,部分年份数据源自《延安统计年鉴》。

2 研究方法

2.1 生态退耕特征分析

本文借助退耕指数、退耕速率及林草覆盖率表示

生态退耕的程度。退耕指数是指生态退耕过程中耕地减少的百分比,退耕速率则表示单位时间内退耕的百分比,而林草覆盖率则表示单位面积土地中林地与草地面积所占比例。其中,退耕指数计算公式如下:

$$K = \left| \frac{C_b - C_a}{C_a} \right| \times 100\% \tag{1}$$

式中: K ——生态退耕指数; C_a, C_b ——研究初期和末期耕地面积。

2.2 生态服务价值计算

1997 年, Costanza 等^[8]将全球生物圈划分为 16 种生态系统及 17 种生态系统功能,并以货币形式估算了其生态服务功能。因其是基于全球尺度且对有些土地利用类型估算有所偏差,故本文在 Costanza^[8]、Daily^[9]等研究的基础上,根据谢高地等^[5]修正的中国单位面积生态服务价值表,结合冉圣宏等^[6]制定的建设用地生态服务价值对区域生态服务价值开展定量分析。区域生态服务价值与单项生态服务价值模型如下:

$$ESV = \sum (A_k \cdot VC_k) \tag{2}$$

$$ESV_f = \sum (A_k \cdot VC_{kf}) \tag{3}$$

式中: ESV ——区域生态系统服务价值(元); A_k ——区域第 k 种土地利用类型的面积(hm^2); VC_k ——第 k 种土

地利用类型单位面积生态服务价值系数(元/ hm^2); ESV_f ——区域第 f 项生态功能服务价值(元); VC_{kf} ——第 k 种土地利用类型对应的第 f 项生态服务价值系数(元/ hm^2)。

由于谢高地提供的为中国单位面积生态服务价值,因其地理区位、自然环境、社会经济及生物多样性的不同而生态系统服务功能有所差异,一般而言,生物量越大,生态服务功能越强^[5,10],故需对生态服务价值系数进行修正。本文运用迈阿密模型对区域生态服务价值进行修正,其是以温度及降水等基础数据估算生物生产力的模型,具体模型如下:

$$NPP_T = \frac{3000}{(1 + e^{1.315 - 0.119t})} \tag{4}$$

$$NPP_R = 3000(1 - e^{-0.000664r}) \tag{5}$$

式中: NPP_T, NPP_R ——由年均温度($^{\circ}C$)、年均降水量(mm)估算的生物生产力值; t, r ——年均温度及降水量。

通过 2000—2013 年全国和研究区温度及降水量数据,估算全国及研究区的生物生产力值,并根据 Liebig 定律选取较小值为生物生产力值,以 2000 年为基准年对延安市生态服务价值系数进行修正(表 1),以准确表征研究区单位面积生态服务价值。

表 1 延安市单位面积生态系统服务价值 元/ hm^2

功能类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	荒漠
气体调节	302.09	2114.76	483.38	0.00	0.00	0.00
气候调节	537.74	1631.38	543.82	277.92	0.00	0.00
水源涵养	362.52	1933.47	483.38	12313.82	0.00	18.10
土壤形成与保护	882.16	2356.42	1178.24	6.01	0.00	12.09
废物处理	990.94	791.55	791.55	10984.60	0.00	6.01
生物多样性保护	428.96	1969.73	658.60	1504.51	0.00	205.40
食物生产	604.25	60.43	181.29	60.43	0.00	6.01
原材料	60.43	1570.95	30.18	6.01	0.00	0.00
娱乐文化	6.01	773.39	24.17	2622.25	56.40	6.01

2.3 STIRPAT 人文驱动因素模型

STIRPAT 模型是由 IPAT 环境压力等式演化而来^[19],其主要是通过人口、富裕度和技术等随机回归以分析各驱动因素对环境压力的影响状况。STIRPAT 模型一般形式如下:

$$I = aP^bA^cT^de \tag{6}$$

式中: I ——环境压力; P ——人口数量; A ——富裕度; T ——技术; a ——模型的系数; b, c, d ——人口数量、富裕度与技术的驱动指数; e ——模型误差。当各系数均为 1 时, STIRPAT 模型即为 IPAT 等式。为准确判断各因素对环境压力的影响及降低异方差性,需对等式进行对数转化,并通过多元线性回归得各驱动指数。

延安市在生态退耕过程中耕地变化与其社会经

济、科技水平与制度政策等人文因素密切相关^[20-21],而因地制宜的选择驱动因子对于合理衡量延安市耕地变化具有更大的理论与实践意义。根据 2000—2013 年延安市土地利用及社会经济、生态环境发展状况,本文对总人口、GDP、第一产业产值、第二产业产值、第二产业产值占 GDP 比重、第三产业产值占 GDP 比重、人均 GDP、固定资产投资、非农人口数、农民纯收入等与耕地面积变化相关的因素进行综合分析,并通过偏相关分析筛选与耕地面积相关系数高于 0.700 的总人口、人均 GDP、非农业人口、农民纯收入、第二产业产值、第二产业产值占 GDP 比重、固定资产投资作为其主要的人文驱动因素。根据 STIRPAT 可建立以下模型:

$$I=aP^bD^cN^dE^eS^fT^gF^hi \tag{7}$$

$$\ln I=b\ln P+c\ln D+d\ln N+e\ln E+f\ln S+g\ln T+h\ln F+j \tag{8}$$

式中： I ——延安市耕地面积(10^2hm^2)； P, D, N, E, S, T, F ——总人口(万人)、人均 GDP(万元)、非农业人口(万人)、农民纯收入(万元)、第二产业产值(亿元)、第二产业产值占 GDP 比重(%)、固定资产投资(亿元)； b, c, d, e, f, g, h ——各驱动因素的驱动指数； a, i ——模型系数及误差， j ——模型系数及误差的对数值。

为准确衡量各驱动因素对数值之间量化关系，需对各对数值进行标准化处理 $\ln I_s, \ln P_s, \ln D_s, \ln N_s, \ln E_s, \ln S_s, \ln T_s, \ln F_s$ ，针对标准化的总人口、人均 GDP、非农业人口、农民纯收入、第二产业产值、第二产业产值占 GDP 比重、固定资产投资等因素进行主成分分析，并进而提取两个综合因子 $\ln M_s, \ln O_s$ 。由耕地面积标准化值作为因变量值，综合驱动因子 $\ln M_s, \ln O_s$ 作为自变量值，通过统计分析软件 SPSS 19.0 运用最小二乘法进行线性回归，以定量表征耕地面积变化与综合驱动因子的关系，并阐释生态退耕过程中耕地变化与各驱动因素之间的量化特征。

3 结果与分析

3.1 延安市生态退耕特征分析

随着生态退耕工程的不断推进与深入，延安市土地利用结构发生了显著的变化。由图 1 可知，2000—2013 年延安市以耕地、林地、草地为主要景观基质。生态退耕致使耕地面积快速减少，2000—2013 年耕地面积减少 26.029 万 hm^2 ，年均减少量为 2.002 万 hm^2 ，垦殖率由 31.842% 降低为 24.790%；林地、草地及建设用地均有所增加，其中，2000—2013 年林地增加量最大，为 20.129 万 hm^2 ，年均增长量为 1.548 万 hm^2 ；建设用地增长率最高，达 111.213%，年均变化量为 1 153.466 hm^2 ；而草地增加量为 4.062 万 hm^2 ，年均增长率仅为 0.197%；水域与荒漠面积略有增加，其年均增长率分别 1.788%，2.580%。延安市 2005—2013 年各土地利用类型面积年均变化量均明显高于 2000—2005 年年均变化量。总之，延安市耕地面积不断减少，林地、草地面积稳步增加，而建设用地面积快速增长，水域面积波动增长，荒漠面积略微增加，土地利用结构显著变化，生态退耕程度日益加深。

土地利用转移状况体现土地利用过程中不同土地利用类型转化趋势及数量特征。如图 2 所示，通过生态退耕工程，耕地主要转化为草地、林地，分别占耕

地转出量的 66.664%，28.627%，并有 1.161 万 hm^2 的耕地转化为建设用地。延安市通过生态退耕工程，耕地、林地、草地与建设用地之间转化剧烈。生态退耕致使耕地面积逐渐减少，退耕指数由 2000—2005 年的 7.143% 转变为 2005—2013 年的 16.158%，2000—2013 年退耕指数达到 22.147%，退耕速率为 1.704%。林地、草地面积逐渐增加，2000—2013 年林草覆盖率由 67.402% 增加为 73.957%，生态系统稳定性强的林地、草地数量大幅度增加，能够有效提升土地利用系统的抗干扰能力。

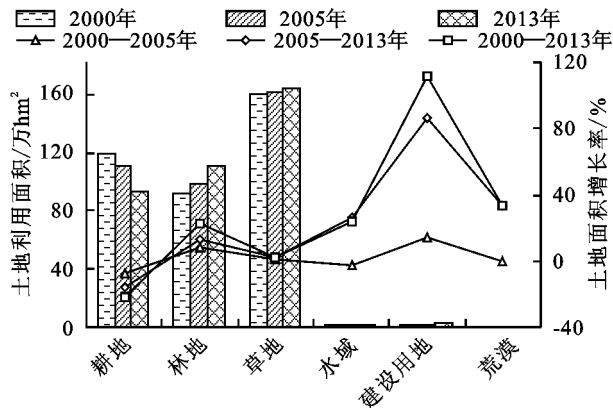


图 1 2000—2013 年延安市各土地利用类型面积及增长率

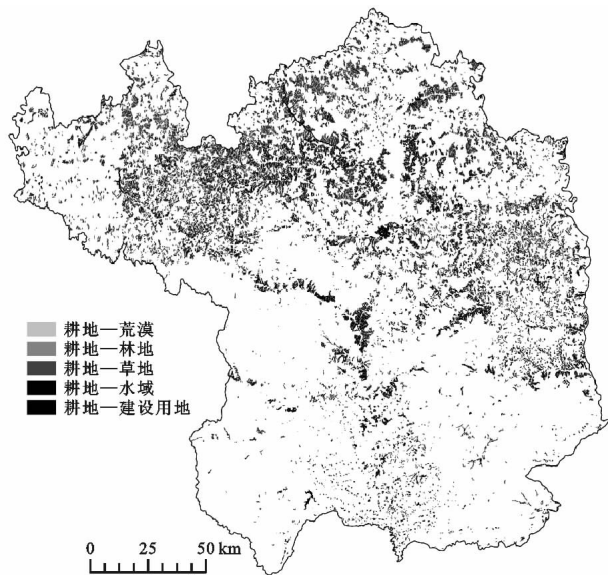


图 2 延安市 2000—2013 年生态退耕空间变化

3.2 延安市生态服务价值变化特征分析

3.2.1 生态系统服务价值动态变化 经计算，延安市 2000 年、2005 年和 2013 年生态系统服务价值分别为 241.418, 247.856, 259.825 亿元，14 年间增加 18.407 亿元，增长率为 7.624%，年均增长量为 1.416 亿元。由表 2 可知，2000—2013 年延安市不同土地利用类型的生态系统服务功能均有所变化且具有差异性，耕地、草地、林地生态系统服务价值贡献率依次递增，分别由 2000 年的 20.325%，28.745%，49.299% 变为 2013 年的 14.703%，27.392%，56.034%。其

中,耕地生态服务价值年均减少量为 0.836 亿元,林地、草地年均增加量为 2.044,0.137 亿元;水域、建设用地及荒漠生态服务价值贡献率较小,且建设用地比重逐渐增大,而水域及荒漠则波动变化。

表 2 延安市 2000—2013 年生态系统服务价值变化

年份	项目	耕地	林地	草地	水域	建设用地	荒漠
2000	服务价值/10 ⁶ 元	4906.908	11901.629	6939.540	392.941	0.761	0.067
	贡献率/%	20.325	49.299	28.745	1.628	0.003	0.000
2005	服务价值/10 ⁶ 元	4556.430	12863.069	6981.685	383.444	0.864	0.067
	贡献率/%	18.383	51.897	28.168	1.547	0.003	0.002
2013	服务价值/10 ⁶ 元	3820.188	14559.103	7117.242	484.297	1.606	0.089
	贡献率/%	14.703	56.034	27.392	1.864	0.006	0.001
2000—2005	变化量/10 ⁶ 元	−350.478	961.440	42.145	−9.496	0.103	0.000
	变化率/%	−7.143	8.078	0.607	−2.417	13.556	0.000
2005—2013	变化量/10 ⁶ 元	−736.242	1696.034	135.557	100.853	0.743	0.022
	变化率/%	−16.158	13.185	1.942	26.302	86.000	33.538
2000—2013	变化量/10 ⁶ 元	−1086.720	2657.474	177.702	91.357	0.846	0.022
	变化率/%	−22.147	22.329	2.561	23.250	111.213	33.538

随着工业化、城镇化及农业现代化与生态退耕工程的逐步推进,延安市土地利用结构调整使生态系统服务功能产生剧烈变化。耕地生态系统服务价值大幅度减少,而林地、草地生态系统服务价值稳步增加。其中,林地生态系统服务价值增幅最大,增长率为 22.329%;草地生态系统服务价值虽有所增加,但其生态系统服务价值增长率 2.561% 低于延安市生态系统服务价值增长率 7.624%,对延安市生态系统服务价值的贡献率有所降低;而建设用地面积急速扩张致使其生态系统服务价值快速增加,14 年间增加 111.213%。延安市 2005—2013 年年均生态系统服

务价值变化量明显高于 2000—2005 年年均变化量,表现出明显的时间差异性。总体而言,生态退耕致使土地利用结构不断变化,加速耕地向林地、草地等生态系统服务价值高的土地利用类型转化,促进生态系统健康稳定发展,生态系统服务功能稳步增强。

3.2.2 生态服务功能价值结构变化 生态系统服务功能是由组成生态系统结构要素的综合作用而形成的生态效益,生态系统结构决定生态系统服务功能,而生态系统功能的变化也可以反映生态系统特征。因此,探究生态系统服务价值结构变化对于准确把握及合理调控生态系统服务功能具有重要的作用。

表 3 延安市 2000—2013 年生态系统单项服务功能变化状况

生态服务功能	2000 年		2005 年		2013 年	
	服务价值/亿元	百分比/%	服务价值/亿元	百分比/%	服务价值/亿元	百分比/%
气体调节	30.283	12.544	31.616	12.756	33.950	13.066
气候调节	29.693	12.299	30.481	12.298	31.807	12.242
水源涵养	31.101	12.883	32.209	12.995	34.651	13.336
土壤形成与保护	50.302	20.836	51.391	20.734	53.228	20.486
废物处理	32.893	13.625	32.676	13.184	32.590	12.543
生物多样性保护	33.459	13.859	34.592	13.957	36.625	14.096
食物生产	10.531	4.362	10.085	4.069	9.155	3.524
原材料	15.352	6.359	16.448	6.636	18.369	7.070
娱乐文化	7.805	3.233	8.357	3.372	9.450	3.637

从演变过程来看,延安市生态系统单项服务价值高低由 2000 年的土壤形成与保护、生物多样性保护、废物处理、水源涵养、气体调节、气候调节、原材料、食物生产、娱乐文化演变为 2013 年的土壤形成与保护、生物多样性保护、水源涵养、气体调节、废物处理、气候调节、原材料、娱乐文化、食物生产。从变化情况来看,延安市生态系统服务结构中土壤形成与保护、生物多样性保护、水源涵养、气体调节、气候调节、原材料、娱乐文化等生态服务功能均有所增加。其

中,娱乐文化、原材料、气体调节、水源涵养增长率较大,增长率分别为 21.076%,19.652%,12.109%,11.414%,而食物生产、废物处理则有所减少,其减少比率为 13.066%,0.921%。从贡献率水平来看,土壤形成与保护、废物处理、气候调节、食物生产所占比重有所降低,其余各项生态系统服务功能均有所升高。从功能差异水平来看,各单项生态系统服务价值变异系数逐渐降低,表明延安市各项生态服务功能发展水平日趋均衡化,生态退耕对生态系统功能的优化

作用逐渐显现(表 3)。由此可知,2000—2013 年延安市生态系统的文化服务、供给服务、调节服务、支持服务等功能依次递增,但单项生态服务功能变化具有差异性且趋于均衡,各项生态服务功能协调程度增加,生态系统综合效益不断增强。

3.3 延安市生态退耕的人文驱动因素分析

土地利用变化主要是自然环境、社会经济、科技水平及制度政策等多重因素的相互影响及综合作用的过程,致使区域土地利用及生态环境呈现系统性与累积性变化^[1-2]。生态退耕即是人类活动主导下的土地利用行为,具有较强的主观性,但也受社会、经济、生态及政策多重因素的综合影响,且生态退耕对于区域社会经济与生态环境也有重要的影响^[22]。因此,探究生态退耕过程中耕地变化的驱动因素对于科学的开展耕地利用及保护具有重要意义。

3.3.1 STIRPAT 模型求解 通过运用 SPSS 19.0 对总人口、人均 GDP、非农业人口、农民纯收入、第二产业产值、第二产业产值占 GDP 比重、固定资产投资等驱动因素进行主成分检验,其 KMO 检验值为 0.767,近似卡方值为 286.468,适合进行主成分分析。提取两个综合因子 $\ln'M_s$, $\ln'O_s$,其累计方差贡献率为 98.805%,且通过显著性检验,表明能够有效综合各因子对耕地面积变化的影响。由综合因素与各驱动因素的系数关系,可建立综合驱动因子与各因子之间的定量化关系为:

$$\ln M_s = 0.152 \ln P_s + 0.155 \ln D_s + 0.151 \ln N_s + 0.149 \ln E_s + 0.155 \ln S_s + 0.125 \ln T_s + 0.154 \ln F_s \quad (9)$$

$$\ln O_s = -0.059 \ln P_s + 0.014 \ln D_s - 0.333 \ln N_s - 0.589 \ln E_s + 0.133 \ln S_s + 1.264 \ln T_s - 0.214 \ln F_s \quad (10)$$

由耕地面积标准化值 $\ln I_s$ 作为因变量值,综合驱动因子 $\ln M_s$, $\ln O_s$ 作为自变量值,借助 SPSS 19.0 运用最小二乘法进行线性回归,定量表征耕地面积变化与综合驱动因子的关系。其中,线性回归模型 R 为 0.908, R^2 为 0.825,且 Durbin-Watson 检验为 1.769,表明线性回归效果显著。

$$\ln I_s = -0.648 \ln M_s - 0.508 \ln O_s + \beta \quad (11)$$

由线性回归方程及综合驱动因子与各驱动因素的关系可得耕地面积变化与各驱动因素之间定量化的关系如下:

$$\begin{aligned} \ln I_s = & -0.0685 \ln P_s - 0.1076 \ln D_s + 0.0713 \ln N_s \\ & + 0.2027 \ln E_s - 0.1680 \ln S_s - 0.7231 \ln T_s \\ & + 0.0089 \ln F_s + \beta \end{aligned} \quad (12)$$

通过对公式(12)进行转化可得 STIRPAT 模型

的标准形式如下:

$$I = a P^{-0.0685} D^{-0.1076} N^{0.0713} E^{0.2027} S^{-0.1680} T^{-0.7231} F^{0.0089} i \quad (13)$$

由 STIRPAT 模型的标准形式可知,总人口、人均 GDP、非农业人口、农民纯收入、第二产业产值、第二产业产值占 GDP 比重、固定资产投资等驱动因素的驱动指数分别为 -0.0685 , -0.1076 , 0.0713 , 0.2027 , -0.1680 , -0.7231 , 0.0089 。

3.3.2 人文驱动因素分析 从 STIRPAT 模型中各驱动因素的驱动指数可知,总人口、人均 GDP、非农业人口、农民纯收入、第二产业产值、第二产业产值占 GDP 比重、固定资产投资对耕地面积变化均具有较大影响,且呈现明显的差异性。

人口数量增加对耕地面积的减少具有促进作用,且在其余影响因素恒定时,总人口增加 1% 导致耕地减少 0.0685%,表明人口数量增加对土地压力作用增大,一方面对建设用地需求不断增加,侵占大量耕地,另一方面增加生态环境保护的迫切性,引起耕地面积不断变化;而人均 GDP 增长对耕地减少具有明显的推动作用,当其增长 1% 时耕地面积减少 0.1076%,可知经济水平提升能够加速工业化、城镇化发展,促进耕地非农化,并有助于生态退耕的顺利开展;第二产业产值和第二产业产值占 GDP 比重与耕地面积呈现负相关,即第二产业产值、第二产业产值占 GDP 比重增长 1% 引起耕地减少的百分量分别为 0.1680, 0.7231, 第二产业产值反映延安市社会经济水平,而第二产业产值占 GDP 比重表征其产业结构状况。延安市 2000—2013 年第二产业产值占 GDP 比重的年均值为 70.51%,且比重呈现先增后减的变化趋势,表明延安市在经济发展过程中产业结构发生显著变化但第二产业仍为其经济发展的重要力量,而其区域经济呈现由工业化向后工业化过渡的趋势,但其粗放型经济增长方式致使耕地面积逐步减少。然而,非农业人口、农民纯收入与固定资产投资对耕地面积增加具有一定的促进作用,当其增长 1% 时引起耕地的增长率为 0.0713%, 0.2027%, 0.0089%。非农业人口推动城市化水平的提升,加速第三产业发展水平,并促进产业的转型升级,推进建设用地的集约化水平程度增加并有助于抑制耕地面积的减少。而农民纯收入增加一方面促进农业生产水平提升,加速农业现代化的发展促进耕地规模化及节约集约化利用,并减少了盲目开垦造成环境的破坏,另一方面农民纯收入结构中工资性收入比重加大增加了农民务农的机会成本,促进了农民的非农转移,进而引起非农业人口增加。固定资产投资则有助于促进城市发展及提升农业产

业区位优势,对推动农业现代化发展具有积极作用。

从作用趋势来看,总人口、人均 GDP、第二产业产值及其占 GDP 比重与耕地变化负相关,而非农业人口、农民纯收入、固定资产投资与耕地面积变化具有正相关性。从作用强度来看,第二产业占 GDP 比重、农民纯收入对耕地面积变化的作用强度相对较强,而固定资产投资则对耕地作用相对较弱。其中,总人口、人均 GDP、第二产业产值及第二产业产值占 GDP 比重等因素的增长对耕地的抑制作用程度逐渐增强,固定资产投资、非农业人口、农民纯收入变化对耕地面积的促进作用依次递增。从综合作用来看,人口数量增加、社会经济增长、产业结构调整对耕地面积减少具有积极作用,而非农业人口数量增加及农村经济水平提升能够促进耕地面积的增长与土地的节约集约利用。

4 结论与讨论

(1) 生态退耕致使延安市土地利用结构产生显著变化。2000—2013 年延安市以耕地、林地、草地为主要景观基质,而耕地面积大幅度减少,林地、草地面积稳步增加,建设用地面积快速增长,水域面积波动增长,荒漠面积略微增加。耕地、林地、草地与建设用地之间转化剧烈,耕地主要转化为草地、林地及建设用地,生态系统稳定性强的林地、草地面积逐渐增加,生态系统结构日趋优化,且稳定性有所增加。

(2) 生态退耕使延安市生态系统服务功能逐步增强,且不同土地利用类型功能及单项生态服务功能变化具有差异性。延安市 2000 年、2005 年和 2013 年生态系统服务价值分别为 241.418、247.856、259.825 亿元,增长率为 7.624%,年均增长量为 1.416 亿元;耕地、草地、林地生态系统服务价值贡献率依次递增,水域、建设用地及荒漠生态服务价值贡献率较小,且建设用地比重逐渐增大,而水域及荒漠则波动变化;延安市生态系统服务结构中土壤形成与保护、生物多样性保护、水源涵养、气体调节、气候调节、原材料、娱乐文化等生态服务功能均有所增加,而食物生产、废物处理则有所减少,但各项生态系统服务功能值变异系数逐渐降低,体现延安市各项生态服务功能发展水平日趋均衡化,生态退耕对生态系统的综合作用逐渐显现。

(3) 人口数量变化、社会经济增长及产业结构调整对生态退耕过程中耕地面积变化影响显著。总人口、人均 GDP、第二产业产值及第二产业产值占 GDP 比重与耕地变化负相关,而非农业人口、农民纯收入、固定资产投资与耕地面积变化呈正相关,且第二产业占 GDP 比重、农民纯收入对耕地面积变化的作用程

度相对较强,体现出人口数量增加、社会经济增长、产业结构调整对耕地面积减少具有积极作用,而非农业人口数量增加及农村经济水平提升能够促进耕地面积的增长及土地资源高效利用。

生态退耕对延安市土地利用景观格局有着重要的影响^[22],有助于其生态系统服务功能的改善。但生态退耕也受自然环境、社会经济及政策制度等因素的影响^[23],随着工业化、城镇化及农业现代化的逐步推进,土地利用形式及强度随社会经济的转型升级而发生改变,产业结构调整影响着区域人口的迁移,第二、三产业发展有利于吸收和转移农业劳动力,减轻耕地压力,从而促进生态退耕的有效开展。因此,因地制宜地开展生态退耕对于区域生态环境及社会经济发展有着积极的作用。而生态环境脆弱的黄土高原在生态退耕过程中,应注重社会经济效益与生态环境效益的共同提升,确保生态退耕与粮食安全的协调性,建立可持续的土地利用模式是生态恢复的关键。

参考文献:

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报,1996,51(6): 553-558.
- [2] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报,2014,69(1):3-14.
- [3] 杜国明,李全峰,刘艳,等. 农业开发对区域生态系统服务功能的影响研究:以三江平原北部地区为例[J]. 水土保持研究,2014,21(3):261-266.
- [4] 谷长磊,刘琳,邱扬,等. 黄土丘陵区生态退耕对草本层植物多样性的影响[J]. 水土保持研究,2013,20(5):99-103.
- [5] 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.
- [6] 冉圣宏,吕昌河,贾克敬,等. 基于生态服务价值的全国土地利用变化环境影响评价[J]. 环境科学,2006,27(10):2139-2144.
- [7] 房学宁,赵文武. 生态系统服务研究进展:2013 年第 11 届国际生态大会(INTECOLCongress)会议述评[J]. 生态学报,2013,33(20):6736-6740.
- [8] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998,1(25):3-15.
- [9] Daily G. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington D. C.: Island Press,1997.
- [10] 谢高地,鲁春霞,成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展[J]. 资源科学,2001,23(6):5-9.
- [11] 李冬玉,任志远,刘宪锋,等. 陕西省耕地生态系统服务价值动态测评[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(7):40-45.

评价模型,并借助 GIS 软件对研究区生态风险进行评价,利用地统计学中的空间分析方法量化地反映生态风险的空间分布特征,从静态的现状评价转为动态的预测,进一步建立在人类活动频繁下的土地利用与区域生态环境的有机联系,为土地利用总体规划修编提供决策依据和理论支持。区域生态风险指数能够较好地评价生态环境状况,通过对生态风险指数级别的划分,高度重视高、较高生态风险区,寻求原因,提高土地生产力;加强建设中等、较低风险区,力求结构更加合理。土地利用规划是对区域各类用地结构和布局进行的长期调配,本研究区应完善土地利用规划决策体系,建立规划实施评价、规范修改制度,切实实施土地利用年度计划管理制度与社会经济发展相结合,树立科学发展观,按分期实现的原则将主要规划目标分阶段纳入研究区国民经济与社会发展 5 年计划中,构建良好的生态用地格局,提高土地利用的综合效益。

参考文献:

- [1] 史培军,江源,王静爱,等.土地利用/覆盖变化与生态安全响应机制[M].北京:科学出版社,2004.
 - [2] 史培军,潘耀忠,陈晋,等.深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析[J].自然资源学报,1999,14(4):293-299.
 - [3] 袁艺,史培军,刘颖慧,等.快速城市化过程中土地覆盖格局研究:以深圳市为例[J].生态学报,2003,23(9):1832-1840.
 - [4] 刘勇,张红,伊京苑.基于土地利用变化的太原市土地利用生态风险评价研究[J].中国土地科学,2009,23(1):52-57.
 - [5] 韦仕川,吴次芳,杨杨,等.基于 RS 和 GIS 的黄河三角洲土地利用变化及生态安全研究:以东营市为例[J].水土保持学报,2008,22(1):185-189.
 - [6] 叶长盛,冯艳芳.基于土地利用变化的珠江三角洲生态风险评价[J].农业工程学报,2013,29(19):224-232.
 - [7] 肖琳,田光进.天津市土地利用生态风险评价[J].生态学杂志,2014,33(2):469-476.
 - [8] 马鹏,李志忠,靳建辉,等.基于土地利用的新疆伊犁河谷生态系统服务价值评价[J].浙江师范大学学报:自然科学版,2010,33(3):331-335.
 - [9] 蒲春玲,余慧容,李晓龙,等.新疆绿洲环境友好型土地利用模式探析:以伊宁市为例[J].安徽农业科学,2010,38(33):19046-19049.
 - [10] 周杜辉,王佑汉,李同昇.基于熵值函数模型的土地利用变化响应研究:以四川省阆中市为例[J].水土保持通报,2010,30(1):134-138.
 - [11] 谢余初,巩杰,赵彩霞,等.干旱区绿洲土地利用变化的生态系统服务价值响应:以甘肃省金塔县为例[J].水土保持研究,2012,19(2):165-170.
 - [12] 莫宏伟,任志远.风沙过渡区土地生态价值及生态风险动态研究:以陕北神木县为例[J].中国沙漠,2010,30(2):357-362.
 - [13] 韦仕川,冯科,邢云峰,等.资源型城市土地利用变化及生态安全数字模拟[J].农业工程学报,2008,24(9):64-68.
 - [14] 李钊,张永福,张景路.干旱区绿洲县域土地利用规划中土地生态安全预测:以新疆阿瓦提县为例[J].水土保持研究,2014,21(6):148-151,157.
- ~~~~~
- (上接第 239 页)
- [12] 杜振宇,刘方春,马丙尧,等.黄河三角洲盐碱地长期人工林生态服务价值评估[J].中国农学通报,2013,29(34):17-23.
 - [13] 陈春阳,陶泽兴,王焕炯,等.三江源地区草地生态系统服务价值评估[J].地理科学进展,2012,31(7):978-984.
 - [14] 李进鹏,王飞,穆兴民,等.延河流域土地利用变化对其生态服务价值的影响[J].水土保持研究,2010,17(3):110-114.
 - [15] 肖生春,肖洪浪,卢琦,等.中国沙漠(地)生态系统水文调控功能及其服务价值评估[J].中国沙漠,2013,33(5):1568-1576.
 - [16] 孙东琪,张京祥,朱传耿,等.中国生态环境质量变化态势及其空间分异分析[J].地理学报,2012,67(12):1599-1610.
 - [17] 田义超,李晶,任志远.近 300 年来黄土高原耕地变化及时空格局分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(2):94-101.
 - [18] 朱会义,吕昌河.近 30 年延安市耕地变化的政策背景及其作用机理[J].地理研究,2010,29(8):1510-1518.
 - [19] York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. Ecological Economics, 2003, 46(3):351-365.
 - [20] 杨梅,张广录,侯永平.区域土地利用变化驱动力研究进展与展望[J].地理与地理信息科学,2011,27(1):95-100.
 - [21] 郭雅雯,赵敏娟.基于 STIRPAT 模型的陕西省耕地面积变化社会经济驱动力分析[J].水土保持研究,2012,19(6):197-201.
 - [22] 张建香,张勃,尹海霞,等.2000—2011 年黄土高原植被景观格局变化[J].生态学杂志,2013,32(2):452-458.
 - [23] 王超,甄霖,杜秉贞,等.黄土高原典型区退耕还林还草工程实施效果实证分析[J].中国生态农业学报,2014,22(7):850-858.