

三峡库区生态敏感区生态系统服务价值及生态安全变化 ——以重庆市云阳、奉节、巫山三县为例

李 灿^{1,2}, 吴 娇^{1,2}, 李月臣³

(1.重庆欣荣土地房屋勘测技术研究所, 重庆 400020;

2.重庆市规划和自然资源调查监测院, 重庆 400020; 3.西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

摘 要:为了从时间和空间上直观得看出区域生态服务价值和生态安全的变化趋势以及二者的相互联系,以云阳、奉节、巫山三县 2000 年、2006 年、2012 年、2018 年 4 期土地利用/覆盖变化数据为基础,ENVI,ArcGIS 软件为平台,在修正后的生态服务价值系数的基础上,引入人为干扰指数和景观脆弱度指数,对云阳、奉节、巫山的生态系统服务价值和生态安全进行评价。结果表明:林地对生态服务价值的总量贡献最大,其次是耕地、草地和水域,建设用地贡献生态服务负向价值,林地分布区域是生态服务价值高值区域,生态服务价值低值区集中分布在城镇区域;林地受人为干扰较小,景观脆弱化程度小,林地区域生态安全状况较好,而耕地、建设用地受人为影响大,景观脆弱化程度明显,生态环境安全性较差;2000—2018 年研究区在大尺度上景观格局没有发生明显变化,生态服务总价值在 2000—2018 年期间呈增加趋势,区域的生态环境安全状况逐渐改善;生态安全格局与生态服务价值空间分布格局保持相对一致;生态安全高值区主集中于生态服务价值高值区,生态服务价值较低区域的生态安全也较差。

关键词:土地利用覆被变化;生态系统服务价值;时空变化;生态安全

中图分类号:P964

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)05-0304-07

Changes in Ecosystem Service Value and Ecological Security in the Ecologically Sensitive Area of the Three Gorges Reservoir Area — A Case Study on Yunyang, Fengjie and Wushan County, Chongqing City

LI Can^{1,2}, WU Jiao^{1,2}, LI Yuechen³

(1.Chongqing Xinrong Land and Housing Survey Technology Institute,

Chongqing 400020, China; 2.Chongqing Planning and Natural Resources Survey and Monitoring Institute,

Chongqing 400020, China; 3.School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: In order to visually see the changing trend of regional ecological service value and ecological security and the interrelation between them from time and space, based on the four issues of land use/cover change data of Yunyang County, Fengjie County and Wushan County in 2000, 2006, 2012 and 2018, and using the Envi, ArcGIS software as platform, and on the basis of the revised Ecological Service Value Coefficient, artificial disturbance index and landscape vulnerability index were introduced to evaluate the ecosystem service values and ecological security of Yunyang County, Fengjie County and Wushan County. The results showed that the total contribution of forestland to the ecological service value was the largest, followed by arable land, grassland and water area, the construction land contributed the negative ecological service value; the forestland distribution area was the area with the high value ecological service value, the areas with low ecological service value concentrated in the urban areas, the forestland was less disturbed by human activities, the degree of landscape fragility was less, the ecological security of forestland was better; the cultivated land and construction land were greatly influenced by human activities, the degree of landscape vulnerability was obvious and the ecological environment security was poor, the landscape pattern had not changed obviously

收稿日期:2020-03-09

修回日期:2020-03-23

资助项目:国家重点研发计划“绿色宜居村镇技术创新”子课题(2018YFD1100805)

第一作者:李灿(1982—),女,重庆市渝北区人,高级工程师,硕士研究生,主要从事国土空间规划与国土资源评价、耕地保护与生态修复等相关研究。E-mail:can000@163.com

通信作者:李月臣(1974—),男,山东德州人,博士,教授,主要从事资源环境遥感、GIS 应用与开发以及区域生态环境等相关研究。E-mail:liyuechen@swu.edu.cn

on the large scale, and the total value of ecological services had increased from 2000 to 2018, the regional ecological environment security situation had gradually improved, the ecological security pattern and the spatial distribution pattern of the ecological service value had kept relatively consistent, and the areas with high values of the ecological security mainly focused on the areas with the high ecological service values, while the areas with the low ecological service values were the areas with poor ecological security levels.

Keywords: ywords: land use/land cover change; ecological service values; spatial-temporal change; ecological security

生态系统景观改变的表现形式是地表覆被变化^[1-2],生态景观的稳定对维持区域生态环境稳定起着关键作用,是保持区域生态系统服务功能稳定和实现可持续发展的基础^[3-4]。生态系统服务价值是对生态系统的结构、功能和过程向人类直接或间接地提供生命支持产品和服务的经济度量^[5],定量评估区域生态服务价值是实现环境资源合理配置与高效利用的基础^[6],也是以生态服务价值构建区域生态安全评估的重要前提^[7]。当前,生态环境效益损益通过生态系统服务价值来量化^[8],以土地利用/土地覆被变化为基础的生态系统服务价值研究可以为生态系统服务功能的管理提供理论支持,是后期生态环境建设补偿政策提出的保障。

生态安全是指区域的生态结构稳定、布局合理,资源可持续利用,人类享受的各种生态系统服务权益不受威胁的状态^[9-10]。当前,关于生态安全的研究多集中在区域尺度和生态系统尺度为主的生态敏感区和生态脆弱区^[11-12],以“状态—压力—响应”模型为基础,采用生态足迹法^[13]、综合指数法^[14-15]、层次分析法^[16]等测算区域生态安全,但评价体系多以专家打分为主,指标体系缺乏动态性特征,且受主观因素较大,无法客观地从多个角度窥视生态环境空间特征。生态安全包括环境、经济及相互作用、联系等系统属性^[9],而生态系统内部经济与环境相互作用机制可以通过生态系统服务供求关系来体现^[17]。土地利用变化是人类活动对环境影响最直接的表现形式^[18],其变化直接关系到生态系统结构和生态服务功能及价值。目前主要集中土地覆被变化下的生态系统服务价值的评价与研究,将生态服务经济价值和生态安全相结合的研究较少。因此本研究拟引进人为干扰度和景观脆弱度,通过生态系统服务的变化关系来表征云阳—奉节—巫山生态安全格局,结合统计法、网络分析法、空间插值法实现生态系统服务价值和生态安全评价在时间动态、空间可视化的四维表达,并探讨生态服务价值变化下的生态安全格局动态变化趋势,这区别于以往学者用静态性的指标体系对生态安全研究,为进一步提高区域生态系统服务价值,维持地区生态结构稳定提供科学依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

云阳、奉节、巫山地处重庆市东北部,长江上游三峡库区腹心,是渝东北三峡库区城镇群重要组成部分,辖100个乡镇街道,幅员面积为10 723.52 km²。云阳、奉节、巫山地区地形地貌复杂,气候特征明显,气候条件温和,属于湿润亚热带季风型气候,多年年均气温16.73℃,年均降雨量1 132 mm;土壤类型有7个土类,11个亚类;区域内降雨充沛、溪河较多,矿产资源丰富、储量较多;动植物资源丰富,其中植被有4 000多种,动物1 500余种。2018年末,云阳、奉节、巫山常住人口211.15万人,占全市总人口的6.81%,其中城镇人口为91.62万人,城镇化率为43.39%。研究区地形起伏较大、山体地质情况复杂、生态环境本底较脆弱,石漠化和水土流失较为严重。根据2018年重庆市水土保持公报,云阳、奉节、巫山水土流失面积4 825.83 km²,占研究区总面积的45.15%,其中,中度及以上侵蚀1 240.34 km²,占幅员面积的11.60%,水土流失强烈侵蚀以上(强烈、极强烈、剧烈)面积670.56 km²,占幅员面积的6.27%;石漠化面积超过幅员面积的10%。近年来,当地政府相继实施了坡改梯、扩大经济林范围、封禁治理等工程措施,研究区森林面积增加,生态环境得到进一步改善。

1.2 数据来源与处理

本研究选择云阳、奉节、巫山3个地区2000年、2006年、2012年和2018年月份相近(6—9月)且云量较少的TM影像(<http://www.csdb.cn/>),分辨率为25 m,进行遥感影像解译。为了分析研究区土地利用覆被变化情况,结合研究区的实际情况和本次研究目的,参照《土地利用现状分类标准》(GB/T21010—2007),将研究区土地利用类型分为6大类:耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地。分别对每期分类结果进行精度检验,四期的精度都超过了87.3%,符合本次精度要求。社会经济数据来源于《重庆统计年鉴》。

2 研究方法

2.1 生态服务功能价值的确定

根据相关研究,生态系统服务价值高低除了与土

地利用类型相关,还与 NPP(Net Primary Productivity)、NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)、EVI(Enhanced vegetation index)等高度相关,参照相关学者^[19]以 NPP,NDVI 为数据源对生态系统服务价值的修正,在 Constanza^[5]和谢高地^[7]等研究成果的基础上,并结合其他学者^[20]对重庆市生态系统服务价值当量因子的修订成果,进一步对云阳、奉节、巫山地区的生态服务价值当量因子进行修正,得到研究区生态系统服务功能当量因子(表 1)。

表 1 修正后的研究区各土地利用类型各生态系统服务功能当量因子

项目	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
气体调节	0.53	3.66	1.21	0.81	-0.18	0.00
气候调节	1.08	3.32	0.94	9.52	0.00	0.00
水源涵养	0.82	3.67	2.38	21.45	-1.89	0.04
土壤形成与保护	1.45	3.89	2.92	0.85	0.00	0.02
废物处理	1.63	1.30	1.30	17.99	0.08	0.01
生物多样性保护	0.7	3.24	2.16	2.51	0.00	0.33
食物生产	1.00	0.10	0.21	0.10	0.00	0.01
原材料	0.10	2.59	1.32	0.03	0.00	0.00
娱乐文化	0.01	1.28	0.04	4.82	0.00	0.01

生态系统服务功能单位面积价值的确定:

标准单位生态系统服务价值当量因子是指 1 hm²全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值,其他生态系统服务价值是指生态系统产生该生态系统服务相对于农田食物生产服务贡献的大小,具体计算方式为:

$$H_n = \frac{1}{7} \times m \cdot T_i \tag{1}$$

式中: H_n 表示某种土地利用类型的某种服务功能 1 hm²提供的经济价值(元/hm²); T_i 表示标准生态系统服务价值当量因子经济价值(元/hm²),本研究中取 2000—2018 年云阳、奉节、巫山 3 个区县多年农田作物经济价值的平均值; m 为生态系统服务价值的当量因子,1/7 是指在没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值是现有单位面积农田提供的食物生产经济价值的 1/7。

根据下列公式计算研究区生态系统服务价值:

$$ESV = \sum_{k=1}^m A_k \times C_k \tag{2}$$

$$C_k = \frac{ESV_i}{S} \tag{3}$$

式中:ESV 为生态系统服务总价值; A_k 为 k 类景观类型的分布面积; C_k 为 k 类型景观单位面积的生态系统服务价值; m 为研究区土地利用种类,为 6。

2.2 人为干扰度指数

参照严恩萍等^[21]的研究,在本研究中,对林地、

耕地、草地、水域、建设用地、未利用地的人为影响强度系数分别赋值为 0.12,0.61,0.09,0.12,0.94,0.08。人为干扰具体计算公式为^[22]:

$$HAI = \frac{\sum_{i=1}^N A_i \cdot P_i}{S} \tag{4}$$

式中:HAI 代表研究区受到的人为干扰; N 代表土地利用类型数,为 6,表示景观类型的数量; A_i , P_i 分别为第 i 种土地利用类型的面积以及该类型的人为影响强度系数; S 为表示所研究区的总面积。

2.3 景观脆弱度指数

景观脆弱程度受外界干扰的影响,根据对景观脆弱度的研究^[23],对本研究中林地、耕地、草地、水域、建设用地、未利用地的景观脆弱度指数赋值,分别为 0.25,0.55,0.35,0.77,0.10,0.90。景观脆弱度指数 U 的计算过程跟人为干扰度指数 HAI 的计算方式类似。

2.4 生态安全指数的构建

区域的人为活动越强,区域景观受到的人为影响就相对较大,使区域景观脆弱化,景观脆弱度越低的区域,生态风险越大,生态安全程度就越低,根据景观结构与生态风险的经验关系,引入生态安全度(ES),其计算公式为:

$$ES = 1 - HAI \times U \tag{5}$$

式中:ES 为生态安全指数;HAI 为人为干扰指数; U 为景观脆弱度指数。

本文参照相关研究^[24-25],将生态安全分为 5 个等级(表 2),等级越低,生态安全越差,相反,等级越高,生态安全度越高。

为了直观地从空间上反映出研究区域生态服务价值和生态安全格局情况,对比生态服务价值与生态安全在空间上的差异,本文应用网格分析法、Kriging 空间插值分析生态服务价值和生态安全的空间变化与差异,具体操作参见文献^[20]。

3 结果与分析

3.1 云阳、奉节、巫山地区土地利用变化特征

3.1.1 土地利用时间变化 云阳、奉节、巫山四期不同土地利用类型面积及比例的统计结果表明(表 3): (1) 林地和耕地是研究区主要土地利用类型,水域、建设用地、未利用地面积相对较少; (2) 草地在前两期占比较大,从 2012 年后草地面积减少明显; (3) 随着退耕还林等政策实施,政策效应逐渐显现,林地面积增加较多,截至 2018 年底林地面积所占比例增加了 11.16%; (4) 随着社会经济的发展,人类干扰活动加强,建设用地不断拓展,2000—2018 年建设用地面

积从 33.53 km²增加到 176.28 km²; (5) 研究区是三峡库区重要地区,受库区的影响较大,2000—2018 年水域面积从 136.80 km²增加到 295.69 km²,水域面积在 2000 年的基础上增加了一倍多。

表 2 生态安全等级标准

等级	标准	安全状态	特征
I	<0.75	不安全	生态环境遭到一定破坏,生态结构不稳定
II	0.75~0.80	较不安全	生态系统自我恢复能力较差
III	0.80~0.85	稳定	生态环境结构比较合理,对外界有一定的抵御能力
IV	0.85~0.90	较安全	生态环境结构合理,生态抗干扰能力比较强
V	>0.90	安全	生态结构好,环境优越,系统恢复能力强,抗干扰能力强

表 3 云阳、奉节、巫山四期土地利用面积、比例及变化情况

土地利用	2000 年		2006 年		2012 年		2018 年		2000—2018 年	2000—2018 年
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积变化	面积比例变化
耕地	3858.30	35.98	3503.70	32.67	3693.79	34.45	3821.74	35.64	-36.56	-0.34
林地	4822.01	44.97	4951.53	46.17	6085.85	56.75	6018.32	56.12	1196.31	11.16
草地	1870.08	17.44	2028.13	18.91	517.10	4.82	402.63	3.75	-1467.45	-13.68
水域	136.80	1.28	190.27	1.77	305.05	2.84	295.69	2.76	158.89	1.48
建设用地	33.53	0.31	49.61	0.46	117.73	1.10	176.28	1.64	142.76	1.33
未利用地	2.80	0.03	0.28	0.00	4.00	0.04	8.85	0.08	6.05	0.06

3.1.2 土地利用空间变化 由图 1 可以看出,2000—2018 年土地利用覆被变化较为显著: (1) 草地面积逐渐减少,耕地、草地减少幅度较大的地区主要集中在云阳东部、南部,奉节中部,巫山西北部、中部; (2) 人为活动加强,建设用地在原有的中心城区的基础上进一步扩大,其中云阳县城城区拓展最为明显; (3) 水域变化也较为明显,水域面积在原有的流域基础上进一步向两岸扩张; (4) 全域林地均有一定的增加,主要分布在区域北部、中部和东部,长江流域沿线一带。

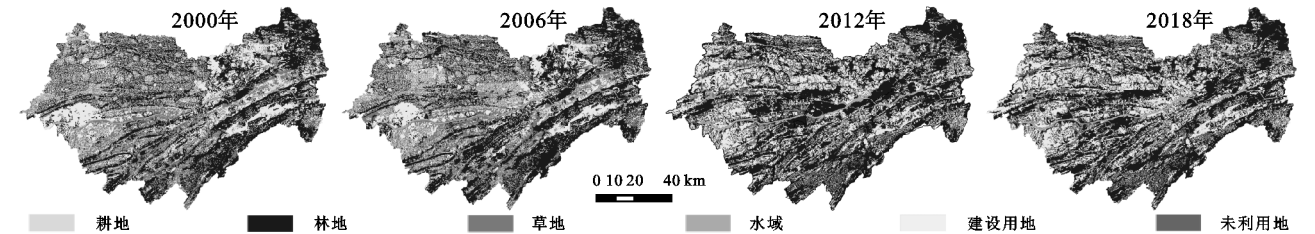


图 1 云阳、奉节、巫山 2000—2018 年土地利用类型空间分布

3.2 生态服务价值动态变化情况

3.2.1 不同土地类型生态服务价值变化情况 从表 4 可以看出,2000 年、2006 年、2012 年、2018 年研究区生态系统服务总价值总体呈现增长趋势,其中 2018 年较 2012 年略微下降。耕地产生的生态系统服务价值总量先减少后增加;草地产生的生态系统服务价值在前两期较多,后两期则骤减;林地、水域提供的生态系统服务价值跟研究区生态价值变化趋势一致,先增加后略微减少;其中林地对生态服务价值的总量贡献最大,建设用地对生态系统服务价值贡献最小,随着社会经济的发展,人类改造自然的的活动能力增强,建设用地面积扩张,建设用地产生更多负向生态服务价值。未利用地提供的生态系统服务价值可忽略不计。

表 4 2000—2018 年云阳、奉节、巫山地区不同生态系统类型的价值变化

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	合计
2000	113819.82	448003.23	94071.15	32024.90	-268.91	4.74	687654.93
2006	103359.06	460036.23	102021.89	44542.21	-397.92	0.47	709561.95
2012	108966.78	565423.58	26011.72	71414.12	-944.29	6.78	770878.70
2018	112741.25	559150.09	20253.75	69222.76	-1413.98	14.98	759968.85
合计	438886.91	2032613.14	242358.51	217203.99	-3025.10	26.97	

3.2.2 生态服务价值空间变化 为了从空间上反映出生态服务价值变化情况,结合前面修正后的生态系统服务功能当量因子表和公式,利用处理后的研究区土地利用覆盖数据,得到 2000—2018 年研究区的生态服务价值空间分布图,见图 2。

可以看出,研究区土地利用空间格局分布决定了

生态系统服务价值的空间分布情况,云阳北部生态系统服务价值量低于南部,奉节中部长江沿线、巫山北部、东部地区生态服务价值较高;生态服务价值低值区主要分布于建设用地及耕地、草地为主的研究区西部地区。根据研究可知,单位面积生态服务价值最高的是水域,其次是林地、草地,而建设用地的生态服务价值为负,而研究区优势土地利用类型为林地,因此高价值区与林地分布趋势一致,低值区的分布与耕地、草地、建设用地格局一致。由于政府实施的相关生态修复政策效应具有滞后性,2012 年与 2018 年生态系统服务价值高值区面积比前两年高值区的面积大,而 2018 年城镇开发强度进一步加强,生态服务产生的负向价值比 2012 年较多,这是导致 2018 年生态服务价值较 2012 年相比略微下降的原因,该变化趋

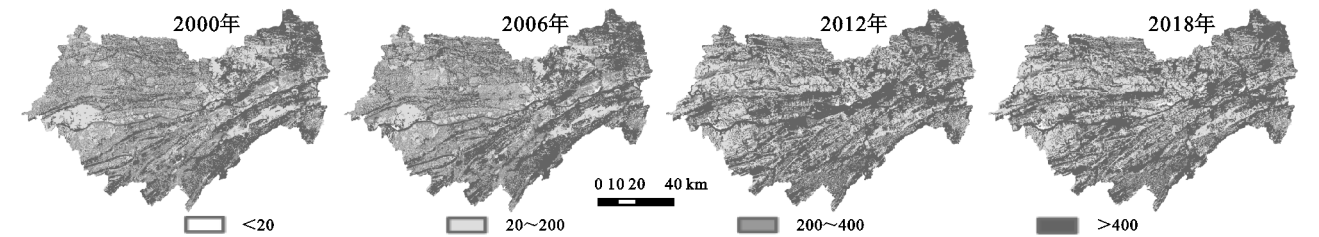


图 2 2000—2018 年云阳、奉节、巫山地区生态服务价值空间分布

3.3 生态安全变化情况

3.3.1 生态安全时间变化 表 5 是 2000—2018 年研究区不同生态安全等级面积的变化情况。由表可知,近 18 a 来,研究区生态环境安全情况变化较小,研究区生态情况主要以生态较安全和生态安全为主。2000 年和 2006 年研究区存在小面积的生态较不安全的区域,分别占研究区面积的 1.28% 和 0.29%,2012 年和 2018 年生态较不安全的面积比前两期生态较不安全的面积大,其中 2018 年生态较不全面

势与之前学者研究的相符合^[21]。生态系统服务价值空间分布受区域景观格局的影响,生态系统服务价值重要区主要分布在林地、水域等区域^[26]。研究区属于典型的山地生态系统,空间异质性明显,研究区中部、南部和东部一带林地分布较多,森林覆被较高,区内的长江流域是重要的水源涵养区,生态服务价值高值区主要集中分布在林地、长江流域一带;而建设用地属于生态系统服务价值的低值区,从研究区生态服务价值在空间上的分布看,分布规律符合傅伯杰等^[27]的研究规律。在研究期内,研究区生态系统服务价值逐渐增加,主要在于对库区环境的高度重视以及不断实施的生态保护工程,使库区整体的生态环境得到改善,增强了各项生态系统服务。

积比 2000 年多 20.33 km²;生态不安全区、生态稳定区、生态安全区有一定的减少,其中较不安全区域减少最为显著,面积减少 610.45 km²,减少比例 5.51%;生态稳定区、生态不安全区和生态安全区有一定减少,其中生态安全区减少最多,减少面积 239.17 km²;其他区域增加,生态较不安全区和生态较安全区面积有一定增加,其中生态较安全区面积增加 372.05 km²。整体而言,云阳、奉节、巫山距离主城较远,承接主城辐射带来的影响也较小,研究区生态环境情况较好。

表 5 2000—2018 年研究区不同生态安全等级的面积、比例及变化情况

生态安全等级	2000 年		2006 年		2012 年		2018 年		2000—2018 年变化量	面积变化比率
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%		
I	137.32	1.28	30.74	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	-137.32	-1.28
Ⅱ	176.45	1.65	153.54	1.43	280.52	2.62	196.78	1.84	20.33	0.19
Ⅲ	1283.40	11.97	738.27	6.88	2837.67	26.46	1267.50	11.82	-15.90	-0.15
IV	5258.16	49.03	5192.37	48.42	5739.61	53.52	5630.21	52.50	372.05	3.47
V	3868.18	36.07	4608.60	42.98	1865.71	17.40	3629.02	33.84	-239.17	-2.23

3.3.2 生态安全空间变化 为了从空间上直观看出研究区 2000—2018 年 4 个时期生态安全变化情况,利用 Kriging 空间插值法,得到研究区四期的生态安全指数的空间分布图,见图 3。

可以看出,2000—2018 年研究区生态安全指数西部明显低于东部,南部高于北部,中部地区较低,这主要与研究区的土地利用覆被情况极大相关,云阳、

奉节、巫山中心城区周围主要以生态结构稳定性较差的耕地、草地为主,而云阳东部、奉节中部、南部以及巫山北部、东部地区主要以林地为主,这些地区生态安全状况较好;在研究区内,生态安全指数的空间格局整体变化较小,低值区和高值区中心位置没有发生显著改变,研究区生态安全指数在空间上的分布趋势与生态系统服务价值的变化趋势保持一致。

整个研究期内,2000年生态安全指数的低值和高值分别小于期余三期的生态安全指数的低值和高值,这与研究区的土地覆被变化相符合。云阳、奉节、巫山地区作为渝东北三峡库区城镇群重要组成部分,随着城镇化速度加快,城镇区域在原有的基础上明显扩张,这些区域社会经济活动相对频繁,但政府在城镇建设的同时进一步促进土地的节约集约利用,减少闲置土地,同时推动经济社会发展和生态环境

保护,生态安全情况在原有的基础上逐渐好转。受地形条件的影响,研究区内的林地多分布在地形起伏大、海拔较高的区域,这些区域交通闭塞,人烟稀少,且随着“退耕还林”政策、各项环境保护工程效应的逐渐显现,林地等生态系统受到更好的保护,生态结构稳定,生态环境逐渐改善,使而林地作为研究区的优势利用类型,对整个研究区生态安全程度逐渐提高至关重要。

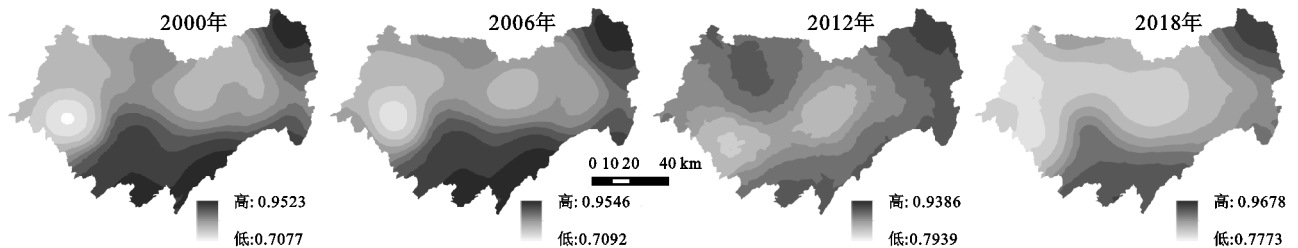


图3 2000—2018年云阳、奉节、巫山地区生态安全空间分布

3.4 研究区生态系统服务对生态安全的影响

从时间上看,2000—2018年,研究区生态系统服务总价值从687 654.93万元增加到759 968.85万元,生态较安全及安全的面积从9 126.34 km²增加到9 259.23 km²;从空间上看,生态系统服务价值的空间格局与研究区土地利用覆被变化趋势保持一致,林地受人为影响小,区域生态服务价值较高,生态环境状况也相对较好,而生态服务价值低值区和生态安全指数较低区主要是分布在受人为活动较为强烈的建设用地、耕地等区域,生态安全格局与生态系统服务价值的空间趋势保持一致,生态安全指数较高的区域主要集中在林地分布较多的区域,而城镇、耕地等区域生态安全指数则较低。

生态系统为人类的生存和发展提供了物质基础,而生态系统稳定的功能服务在区域的生态安全中占据着重要位置。云阳、奉节、巫山是国家重点生态功能县,渝东北涵养区的重要组成部分,良好的生态环境是该片区域最大的优势,在推进新型城镇化的同时进一步加强生态文明建设,对整个渝东北乃至更大区域的生态稳定、经济社会发展都至关重要。云阳、奉节、巫山具有典型的山地生态系统特征,区域地形起伏大,海拔较高,近年来,城市化加快,社会经济活动相对频繁,从而加速耕地、草地破坏或向其他土地利用方式转变,促使耕地、草地景观趋于破碎化,从而导致耕地、草地等区域生态安全程度较低,这与韩逸等^[28]的研究一致,而景观破碎度与生态服务价值呈负相关^[29]。

在研究期内,草地提供的生态服务价值在逐渐减少,林地提供的生态服务价值显著增加,耕地提供的价值变化幅度较小,各项生态服务价值整体上呈现增

加趋势增加,区域生态安全水平整体在提高。一方面,区域草地受地形起伏影响,草地主要分布于海拔较低的区域,再加上乡村人口逐渐城镇化,合适放牧的草地撂荒严重^[26],使草地抵御生态风险的能力下降,草地向林地等土地利用类型转化;另一方面,经济转型,人类活动的加强,大量草地、部分耕地被非农建设占用,但随着政府对耕地保护的不断加强,使耕地在研究期内变化较小。退耕还林政策效应是一个累积与滞后的反应过程,再加上政府实施对区域石漠化的治理,进一步加快对长江生态屏障工程的建设,各项环境保护政策、生态工程在2005年后才逐渐起到了改变景观格局的作用,这是2012年后林地面积增加较多的主要原因。此外,林地集中分布在海拔较高,距居民点较远的区域,受到人为干扰的影响较小,林地生态系统逐渐恢复稳定,景观破碎化程度降低,且林地生态系统具有潜在的生态效益,在涵养水域和水土保持方面发挥着巨大的作用,是保障研究区生态环境最主要的屏障,再加上林地是云阳、奉节、巫山地区主要的土地利用类型,对整个区域的生态系统服务价值贡献最大,进而提升了整个区域的生态安全水平。

4 讨论与结论

4.1 讨论

人类活动主要集中在地形条件较好且经济发达地区^[30],其活动干扰会导致生态系统结构破坏、功能衰退、生物多样性减少等生态环境退化现象。奉节、巫山均地处长江沿线,再加上三峡库区的修建和运行,大量的移民迁入,不断地迁建导致保留的中心城区、场镇在原有的基础上逐渐扩大,由于毗邻城镇,这

一部分长江流域受到的人为干扰就较大,从而对局部区域生态系统的连通性和完整性产生一定程度的破坏,再加上耕地、草地大多分布在地形起伏相对较低的区域,且生态结构单一。近年来,政府加大对渝东北经济发展的投入,研究区城镇规模逐渐扩大,大量非农建设占用耕地、草地,局部地区受到的人为干扰活动较大,但政府在开展各类建设的同时又针对性地提出保护和建设策略,在坚持生态保护优先的前提下严格控制建设开发规模和强度,进而出现了低生态安全区向四周扩张,整体的生态安全指数呈逐渐增加趋势。而林地分布主要集中于海拔较高或地形起伏较大地区,人为活动较少,高生态安全区域则集中在这些区域。单位面积生态系统服务功能产生的价值由自然生态系统健康程度决定^[31],生态安全空间格局与生态系统服务价值的空间分布趋势一致。

本研究数据来源于遥感影像,数据处理过程中不可避免地会出现相应的误差,导致生态服务价值的估算结果与实际有一定偏差。采用间接评价法对生态系统服务价值的评估,根据研究区的实际情况,对当量因子进行了修正,对单位面积不同生态系统不同服务类型价值进行赋值,生态安全评价考虑了土地利用类型,避免了因利用类型不同其内部稳定性、安全性不一样的影响,最后获得的评价结果能从大尺度上反映生态系统服务和生态安全的空间分布格局和演变规律。此外为进一步提高数据准确性,生态服务价值与生态安全间的作用机制有待进一步研究。

4.2 结论

(1) 研究区耕地和林地是主要景观类型,2000—2018年期间,草地面积锐减,林地面积增加较多。

(2) 研究区生态系统服务总价值呈现逐渐增长趋势;从不同生态系统生态服务价值上看,林地对生态系统服务价值的贡献较大,其次是耕地,而建设用地对生态服务价值为负向贡献;从生态服务价值的空间分布上看,生态系统服务价值在空间分布上受景观空间格局的影响,生态服务价值高值区集中分布在林地,低值区集中分布在城镇一带。

(3) 自然条件和社会经济相互作用影响区域的生态安全状况,在环保意识逐渐加强及各种环保政策有效实施的背景下,研究区内的生态环境水平逐渐提高,生态环境逐渐改善,生态安全系数逐渐增大,研究区内的生态安全格局跟生态服务价值空间分布格局大体一致,生态安全高值区主要集中于生态服务价值高值区,生态安全低值区主要集中分布在生态服务价值较低区域。

参考文献

- [1] 李文华,张彪,谢高地.中国生态系统服务价值研究的回顾和展望[J].自然资源学报,2009,24(1):1-10.
- [2] Egeist H J, Lambin E F, Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation [J]. *Bio-Science*, 2002,52(2):143- .
- [3] Feng Huihui, Zhao Xiaofeng, Chen Feng, et al. Using land use change trajectories to quantify the effects of urbanization on urban heat island[J]. *Advances in Space Research*, 2014,53(3):463-473.
- [4] Van Jaarsveld A S, Biggs R, Scholes R J, et al. Measuring conditions and trends in ecosystem services at multiple scales: the Southern African Millennium Ecosystem Assessment (SAfMA) experience [J]. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 2005,360(1454):425-441.
- [5] Costanza R R, Groot A R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 386:253-260.
- [6] 谢高地,鲁春霞,称升魁.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.
- [7] 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.
- [8] Brander L, Brouwer R, Wagtenonk A. Economic valuation of regulating services provided by wetlands in agricultural landscapes: A meta-analysis [J]. *Ecological Engineering*, 2013,56(7):89-96.
- [9] 秦晓楠,卢小丽.沿海城市生态安全作用机理及系统仿真研究[J].中国人口·资源与环境,2014,24(2):60-68.
- [10] 蒙古军,赵春红,刘明达.基于土地利用变化的区域生态安全评价:以鄂尔多斯市为例[J].自然资源学报,2011,26(4):578-590.
- [11] 王宗明,张树清,张柏.土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J].中国环境科学,2004,24(1):126-129.
- [12] 吴钢,肖寒,赵景柱,等.长白山森林生态系统服务功能[J].中国科学 C 辑,2001,31(5):471-480.
- [13] Chu X, Deng X Z, Jin G, et al. Ecological security assessment based on ecological footprint approach in Beijing-Tianjin-Hebei region, China[J]. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2017,101:43-51.
- [14] 徐成龙,程钰,任建兰.黄河三角洲地区生态安全预警测度及时空格局[J].经济地理,2014,34(3):149-155.
- [15] 张玉泽,任建兰,刘凯,程钰.山东省生态安全预警测度及时空格局[J].经济地理,2015,35(11):166-171,189.

[4] Rafael Crecente, Carlos Alvarez, Urbano Fra. Economic, social and environmental impact of land consolidation in Galicia[J]. Land Use Policy, 2002,19(2):135-147.

[5] 师子峰.层次分析法在丘陵地区土地整理生态效益评价中的应用:以重庆市黄泥堡项目区为例[J].安徽农学通报,2010,16(9):47-49.

[6] 邓胜华,梅昀,胡伟艳.基于模糊模型识别的石碑坪镇土地整理社会生态效益评价[J].中国土地科学,2009,23(3):72-75.

[7] 吴怀静,杨山.基于可持续发展的土地整理评价指标体系研究[J].地理与地理信息科学,2004,20(6):61-64.

[8] 李岩,赵庚星,王瑗玲,等.土地整理效益评价指标体系研究及其应用[J].农业工程学报,2006,22(10):98-101.

[9] 张雪松,张茂茂,王全喜,等.基于 CW-GRAP 模型的随州市土地整治综合效益评价[J].水土保持研究,2019,26(3):324-330.

[10] 陈利根,于娜,曲欣,等.土地整理生态效益评价指标体系研究及应用[J].安徽农业科学,2008,36(20):8732-8734,8742.

[11] 郭金玉,张忠彬,孙庆云.层次分析法的研究与应用[J].中国安全科学学报,2008,18(5):148-153.

[12] 王小川,史峰,郁磊,等. MATLAB 神经网络 43 个案例分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2013.8.

[13] 邓雪,李家铭,曾浩健,等.层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J].数学的实践与认识,2012,42(7):93-100.

[14] Robert H N. Theory of the backpropagation neural network[R]//Ijcnn:Neural Networks, 1989.

[15] 焦斌,叶明星. BP 神经网络隐层单元数确定方法[J].上海电机学院学报,2013,16(3):113-116,124.



(上接第 310 页)

[16] 解雪峰,吴涛,肖翠,等.基于 PSR 模型的东阳江流域生态安全评价[J].资源科学,2014,36(8):1702-1711.

[17] Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, Müller F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets[J]. Ecological Indicators, 2012,21:17-29.

[18] 陈星.区域生态安全空间格局评价模型的研究[J].北京林业大学学报,2008,30(1):21-28.

[19] 程滔.一种全国陆地生态系统服务价值的大数据计算与分析方法[J].测绘通报,2018(8):41-46.

[20] 吴娇.重庆市土地覆被变化及生态响应研究[D].重庆:重庆师范大学,2018.

[21] 严恩萍,林辉,王广兴,等.1990—2011 年三峡库区生态系统服务价值演变及驱动力[J].生态学报,2014,34(20):5962-5973.

[22] Chen F, Ge X P, Chen J F. Geostatistical analysis on human impact indexes for land use/cover in Fujian and Taiwan[J]. Tropical Geography, 2008,26(6):518-522.

[23] 宋文杰,张清,刘莎莎,等.基于 LUCC 的干旱区人为干扰与生态安全分析:以天山北坡经济带绿洲为例[J].干旱区研究,2018,35(1):235-242.

[24] 欧定华.城市近郊区景观生态安全格局构建研究[D].成都:四川农业大学,2016.

[25] 蒙古军,赵春红,刘明达.基于土地利用变化的区域生态安全评价:以鄂尔多斯市为例[J].自然资源学报,2011,26(4):578-590.

[26] 齐杨,邬建国,李建龙,等.中国东西部中小城市景观格局及其驱动力[J].生态学报,2013,33(1):275-285.

[27] 傅伯杰,刘国华,欧阳志云,等.中国生态区划研究[M].北京:科学出版社,2013.

[28] 韩逸,郭熙,江叶枫,等.南方丘陵区耕地景观生态安全影响因素及其空间差异[J].生态学报,2019,39(17):6522-6533.

[29] 张明阳,王克林,刘会玉,等.喀斯特生态系统服务价值时空分异及其与环境因子的关系[J].中国生态农业学报,2010,18(1):189-197.

[30] 刘艳芳,孔雪松,邹亚峰.不同农村居民点整理模式下的耕地潜力评价模型[J].武汉大学学报:信息科学版,2011,36(9):1123-1128.

[31] 段瑞娟,郝晋珉,张洁瑕.北京区位土地利用与生态服务价值变化研究[J].农业工程学报,2006,22(9):21-28.