

唐启琳,刘方,刘秀明,等.基于LUCC的喀斯特山区生态系统服务价值评价[J].环境科学与技术,2019,42(1):170-177. Tang Qilin, Liu Fang, Liu Xiuming, et al. Evaluation of ecosystem service value in karst mountains based on land use change[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 42(1): 170-177.

基于LUCC的喀斯特山区生态系统服务价值评价

唐启琳^{1,2}, 刘方¹, 刘秀明^{2*}, 汪花^{1,2}

(1.贵州大学资源与环境工程学院,贵州 贵阳 550025;

2.中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室,贵州 贵阳 550081)

摘要:喀斯特山区具有特殊的生态环境,对其进行生态系统服务价值评价是保证喀斯特山区生态安全和生态系统恢复的重要基础。该文基于典型喀斯特山区罗甸县土地利用/覆被变化(LUCC)数据,运用土地利用动态度分析研究区土地利用变化情况。结合研究区经济水平,采用“当量因子法”计算研究区生态系统服务价值(ESV),并对罗甸县2009-2016年间ESV的时空变化和驱动力展开研究。研究表明:在2009-2016年期间,研究区耕地、建设用地使用面积呈增加趋势,其他的土地利用类型面积均有所减少;研究区生态系统服务价值总体呈下降趋势,除食物生产的ESV增加外,其余的生态系统单项服务价值均下降,其原因主要受控于人文因素的影响;2009和2016年研究区敏感性指数(CS)均<1,说明ESV对价值系数(VC)不敏感,缺乏弹性,因此结合罗甸县县域特征修正后的生态服务价值系数是合理的,研究结果是可信的;受地质背景的影响,罗甸县北部喀斯特地区的生态系统服务价值相比于中、南部非喀斯特地区偏低。因此,在罗甸县土地利用规划中,需要合理调整土地资源结构,提高研究区生态服务价值。

关键词:生态系统服务价值; 土地利用变化; 喀斯特; 土地利用动态度; 罗甸县

中图分类号:X171.1 文献标志码:A doi:10.19672/j.cnki.1003-6504.2019.01.025 文章编号:1003-6504(2019)01-0170-08

Evaluation of Ecosystem Service Value in Karst Mountains Based on Land Use Change

TANG Qilin^{1,2}, LIU Fang¹, LIU Xiuming^{2*}, WANG Hua^{1,2}

(1.College of Resource and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2.State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China)

Abstract: The karst mountainous area has its special ecological environment, and the evaluation of the ecosystem service value in the karst mountain area is an important basis for ensuring its ecological security and ecosystem restoration. The article takes the typical karst mountainous Luodian County as an example, using land use dynamics to analyze the land use change in the research area. And combining the economic level of the study area, the equivalent factor method was used to estimate the ecosystem service value (ESV), and the spatial and temporal variations and the driving force of ecosystem service value in Luodian during 2009 to 2016 were studied. The results indicated that the area of cultivated land and construction land in the studied area showed increasing trend, while the area of other land use types decreasing. The ESV value generally showed a downward trend, in addition to the increase in ESV in food production, the value of the remaining ecosystem services declined. This change is mainly controlled by the effects of human disturbance. In 2009 and 2016, the coefficients of sensitivity(CS) in the study area was less than 1, indicating that ESV is not sensitive to the value of coefficient (VC), and lacking resilience, so the ecological service value coefficient after the correction of the county characteristics of Luodian is reasonable, and the research results are credible. As a result of the geological background, the ESV value of the northern karst area of the County is lower than the central and southern regions. Therefore, for the land use planning of Luodian County, it is necessary to rationally adjust the structure of land resources to improve the value of ecological services in the studied area.

Key words: ecosystem service value; land use change; karst; land use dynamics; Luodian County

《环境科学与技术》编辑部:(网址)http://jks.chinajournal.net.cn(电话)027-87643502(电子信箱)hjkxyjs@vip.126.com

收稿日期:2018-07-27;修回2018-10-12

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0800602);贵州省高层次创新型人才培养计划“十”层次人才项目(黔科合平台人才【2016】5648)

作者简介:唐启琳(1993-),女,硕士研究生,主要研究方向为环境地球化学,(电子信箱)tangqilin0620@163.com; *通讯作者,(电子信箱)liuxiuming@vip.skleg.cn。

土地是人类生存不可缺少的一部分^[1]。生态系统服务更是在绿色经济指标评价和区域间社会经济发展协调中起着至关重要的作用^[2]。土地利用/覆被变化(LUCC)在一定程度上影响着区域生态系统的结构和功能,从而引起生态系统服务价值的改变^[3],同时生态系统服务价值可以成为生态环境效应的量化指标,其变化也影响着土地利用方式的格局^[4]。随着人口增长、经济发展和城市化进程加快,因不合理的土地利用方式导致的生态环境问题日益突出,在此背景条件下的研究尤为必要。目前Castanza^[5]和Xie等^[6]关于生态系统服务价值评估的研究,被广泛应用于不同区域土地利用变化的评价中,并取得显著成果^[7-9],此评价方法具有结果可比性高、评价全面等优点。但基于自然环境和经济指标的差异性和复杂性,需要对不同区域的生态系统服务价值评价与研究区实际情况相结合来修正生态系统服务价值系数,从而提高价值评价的精确度^[10,11]。

喀斯特地区由于其特殊的地质背景^[12],容易发生石漠化、水土流失等地质灾害,使生态系统遭受破坏。并且喀斯特地区环境脆弱,经济水平低,耕地面积少,从而导致人地矛盾尖锐。目前针对喀斯特山区土地利用变化的生态系统服务价值的评价相对较少,生态恢复缺乏可借鉴的技术手段,通过加强该方面的研究,不仅可以丰富这一领域的研究类型,及时了解喀斯特山区土地利用特点、潜在利用方法和存在的问题,也能够提高其土地集约利用程度和科学利用水平,对实现喀斯特生态系统的健康发展以及喀斯特地区社会-经济-生态的可持续发展具有重要价值。

本研究以典型喀斯特山区罗甸县2009年和2016年各类土地利用类型在区域上的置换与更替数据以及修正的价值系数为基础,进行土地利用动态变化分析和生态服务价值时间和空间变化上的评价,不仅为该区土地利用方式提供一定的参考依据,也为罗甸县改善生态环境和增强生态系统服务功能提供科技支撑。

1 研究区概况

罗甸县位于贵州省南部边缘,地处东经106°23'~107°03',北纬25°04'~25°45'之间(图1),年平均气温20℃,年均降雨量为1123mm。是贵州省发展早熟蔬菜和热带、亚热带作物的理想地区。境内以山地为主,山地面积占国土面积的78%。其石漠化面积占全县土地面积的34.35%,导致可利用的土地资源较少,并且综合自然条件较差,是贵州省水土流失最严重的县域之一,罗甸县地处于贵州高原向广西丘陵过渡的

斜坡地带,地势北高南低,地表出露地层以三叠系最为发育,二叠系次之。根据岩性的不同,可将罗甸县分为典型喀斯特区域、亚喀斯特区域和非喀斯特区域^[13],其北部、东北部以典型喀斯特丘陵、盆地和中低山地貌为主,中部、南部以亚喀斯特区域和非喀斯特河谷、盆地和低山地貌为主。

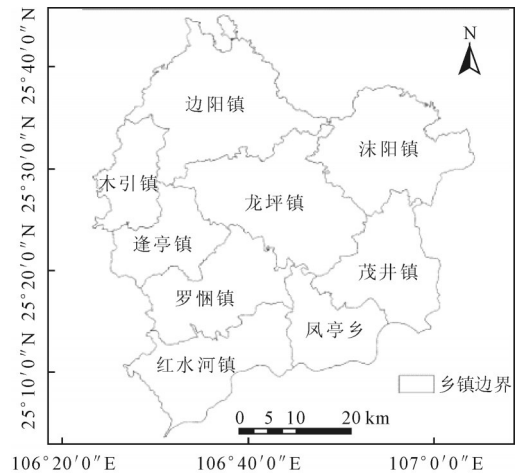


图1 研究区分布图

Fig.1 The distribution map of the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

土地利用数据来源于罗甸县国土局2009年和2016年土地利用现状变更调查表。2009-2016年罗甸县粮食总产量和播种面积数据来源于罗甸县统计局,人口和社会经济数据来源于《2016年罗甸县统计年鉴》,土地利用分类参照《土地利用现状分类标准》(GB/T 21010-2017),将研究区土地利用类型分为8大类:耕地、园地、林地、草地、建设用地(城镇村及工矿用地、交通运输用地)、水域、其他土地。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用动态度分析

土地利用动态度是分析土地利用变化动态的重要指标,表示某研究区在一定范围内某种土地利用类型数量变化的速度^[14],可以反映出土地利用变化的方向和大小。其公式为:

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

式(1)中, K 为研究时段内某一土地利用类型的动态度; U_a 、 U_b 分别为研究初期、研究末期某种土地利用类型的面积; T 为研究时段。

2.2.2 单位面积价值当量法

Cosstanza等^[15]提出生态系统服务价值评估的方法理论,并且将全球生物圈生态服务价值进行了估算,但并不完全适用于我国。谢高地等在此基础上,

先后对中国700位专业科研人员进行问卷调查后,得出了2007年中国陆地生态系统单位面积服务价值当量^[6],并在2015年进一步对其进行改进,实现了对全国14种生态系统类型及其11类生态服务功能价值在时间和空间上的动态综合评估。本文参考其最新研究成果^[7],依据公式(2)对农田生态系统单位面积生态服务价值做出修正,计算如下:单位面积农田食物生产生态服务价值(1个标准当量因子)相对于研究区域当年平均粮食单产市场价值的1/7。

$$Ea = \frac{1}{7} \sum_i^n \frac{m_i \times p_i \times q_i}{M} \quad (2)$$

式(2)中, Ea 为单位面积农田系统提供食物生产

服务功能的经济价值(元/hm²), i 为作物种类,罗甸县粮食作物主要为水稻、小麦、玉米、大豆, m_i 为第 i 种粮食作物面积(hm²), p_i 为第 i 种粮食作物平均价格(元/kg), q_i 为第 i 种粮食作物单产(kg/hm²), M 为粮食作物总面积(hm²)。

罗甸县2009–2016年粮食平均产量为3 761.85 kg/(hm²·a),2016年粮食平均价格为2.63元/kg,得出罗甸县农田自然粮食产量经济价值大约为1 413.38元/(hm²·a),以单位面积生态服务价值当量因子表(表1)为基础,计算出研究区不同地类生态系统服务价值系数。

2.2.3 生态系统服务价值分析

表1 单位面积生态服务价值当量因子表
Table 1 Ecosystem service equivalent value per unit area

一级类型	二级类型	农田	森林		草地	水域	荒漠
土地利用类型		耕地	园地	林地	草地	水域	其他土地
供给服务	食物生产	0.85	0.19	0.29	0.38	0.80	0.00
	原料生产	0.40	0.43	0.66	0.56	0.23	0.00
	水源供给	0.02	0.22	0.34	0.31	8.29	0.00
调节服务	气体调节	0.67	1.41	2.17	1.97	0.77	0.02
	气候调节	0.36	4.23	6.50	5.21	2.29	0.00
	净化环境	0.10	1.28	1.93	1.72	5.55	0.10
	水文调节	0.27	3.35	4.74	3.82	102.24	0.03
支持服务	土壤保持	1.03	1.72	2.65	2.40	0.93	0.02
	维持养分循环	0.12	0.13	0.20	0.18	0.07	0.00
	生物多样性	0.13	1.57	2.41	2.18	2.55	0.02
文化服务	美学景观	0.06	0.69	1.06	0.96	1.89	0.01

以罗甸县2009年和2016年土地利用数据和罗甸县不同地类生态价值系数为基础,根据式(3)可算出罗甸县生态系统服务价值。其中,耕地、草地、水域、其他土地分别对应农田、草地、水域、荒漠,园地和林地对应森林,建设用地赋值为0^[8],所以本文不估算城镇村及工矿用地、交通运输用地的生态价值。生态系统服务价值计算公式为:

$$ESV = \sum (A_k \times VC_k) \quad (3)$$

式(3)中, ESV 为研究区生态系统服务总价值(元), A_k 是研究区地 k 种土地利用类型分布面积(hm²), VC_k 是第 k 类土地利用类型的生态价值系数(元/(hm²·a)),即单位面积生态系统服务的价值。

2.2.4 敏感性指数分析方法

敏感性指数(CS)可以验证生态系统服务价值(ESV)对生态价值系数(VC)的敏感程度^[9]。当 $CS > 1$ 时说明 ESV 对 VC 是富有弹性的; $CS < 1$ 时说明是缺乏弹性的。公式如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \right| \quad (4)$$

式(4)中: i 和 j 分别为初始总价值和调整后总价值, k 为各土地利用类型。

3. 结果与分析

3.1 土地利用动态度分析

研究区域利用2009–2016年罗甸县土地利用现状数据,统计出各土地利用类型的变化量和变化率,同时根据土地利用动态度方法计算出各土地利用动态度指数(表2)。在罗甸县不同土地利用类型中,林地分布最为广泛,约占土地总面积的一半以上,交通用地所占比例最小。随着社会的发展,罗甸县各土地利用类型的面积也随之发生变化。2009–2016年间罗甸县耕地、城镇村及工矿用地、交通运输用地面积呈上升趋势,其中耕地面积增量最大,其次是交通运输用地、城镇村及工矿用地,而罗甸县草地、林地、园地、其他土地、水域面积则呈不同程度的下降趋势。

从变化幅度来看(图2),交通运输用地的变化幅度最大,达到3.98%,其次是城镇村及工矿用地、耕地;园地、林地、草地、水域和其他土地的动态度均为负数,说明各地类均在减少,也表明研究区近几年改善

表2 2009-2016年罗甸县各土地利用类型面积变化及其动态度
Table 2 Land use dynamics and rate of different types in Luodian County during 2009-2016

土地利用类型	2009年		2016年		变化量/hm ²	变化率/%	动态度/%
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%			
耕地	36 335.56	12.06	37 316.55	12.39	980.99	2.70	0.39
园地	6 666.69	2.21	6 606.51	2.19	-60.18	-0.90	-0.13
林地	170 791.91	56.68	170 008.29	56.42	-783.62	-0.46	-0.07
草地	56 643.60	18.80	55 838.27	18.53	-805.33	-1.42	-0.20
城镇村及工矿用地	4 281.93	1.42	4 630.45	1.54	348.52	8.14	1.16
交通运输用地	1 322.01	0.44	1 690.13	0.56	368.12	27.85	3.98
水域	10 179.66	3.38	10 156.56	3.37	-23.10	-0.23	-0.03
其他土地	15 083.21	5.01	15 057.81	5.00	-25.40	-0.17	-0.02

了交通基础设施,加大了农作物生产力度,并推动了城镇化发展进程。

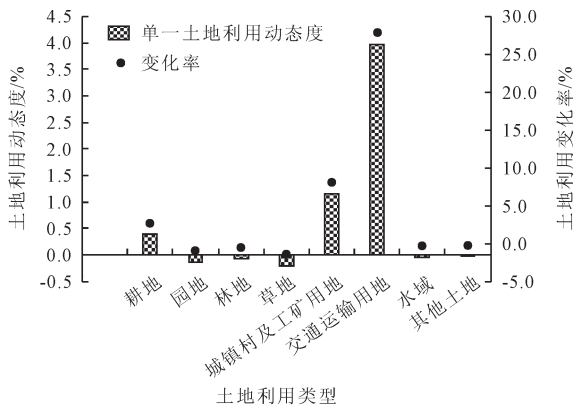


图2 各土地利用类型变化率及动态度
Fig.2 Land use dynamics and rate of difference types

3.2 罗甸县生态系统服务价值变化分析

3.2.1 生态系统服务价值动态变化

2009-2016年期间,罗甸县生态系统服务价值总

体呈减少趋势,由2009年的 $9\ 277.20 \times 10^6$ 元下降到2016年 $9\ 229.52 \times 10^6$ 元,ESV下降 47.67×10^6 元,价值变化率为 -0.51% (表3)。其中林地是生态系统服务价值的主要贡献者,2个时期ESV所占比例均超过总价值的50%。从各种土地类型服务价值来看,除了耕地所提供的ESV增加之外,其他土地利用类型的生态系统服务价值均呈下降趋势,其中,林地的ESV减少值最多,共减少 25.42×10^6 元,变化率为 -0.46% ,其次是草地,共减少 22.41×10^6 元,变化率为 -1.42% ,其他土地的ESV基本保持不变。出现此情况的主要原因是随着罗甸县社会经济的发展,城镇村及工矿用地和交通用地等建设用地的快速扩张,其他土地利用率低,使研究区园地、林地、草地面积逐渐减少。虽然耕地面积有所增加使罗甸县生态服务价值增加了 5.55×10^6 元,但不能与园地、林地、草地、水域面积减少所损失的ESV相抵消,说明林地、草地等生态价值系数较高

表3 2009-2016年罗甸县生态系统服务价值变化
Table 3 Change of ecosystem service value in Luodian County during 2009-2016

土地利用类型	2009年		2016年		变化量/($\times 10^6$ 元)	变化率/%
	价值量/($\times 10^6$ 元)	价值比例/%	价值量/($\times 10^6$ 元)	价值比例/%		
耕地	205.94	2.22	211.49	2.29	5.55	2.70
园地	143.41	1.55	142.12	1.54	-1.29	-0.90
林地	5 539.99	59.72	5 514.57	59.75	-25.42	-0.46
草地	1 576.36	16.99	1 553.95	16.84	-22.41	-1.42
水域	1 807.24	19.48	1 803.14	19.54	-4.10	-0.23
其他土地	4.26	0.04	4.25	0.04	-0.01	-0.17
合计	9 277.20	100	9 229.52	100	-47.68	-0.51

的土地面积转化为生态价值较低的地类,导致罗甸县总体的生态系统服务价值呈下降趋势。

3.2.2 生态系统服务价值空间变化

2009-2016年期间,在罗甸县总生态系统服务价值下降的同时,罗甸县8个乡镇的ESV均表现出不同程度的下降趋势(图3)。其中,龙坪镇减少量最大,8年共减少 13.72×10^6 元,变化率为 -0.91% ,其次是罗侗镇、红水河镇、逢亭镇减少量分别为 6.48×10^6 元、 6.44×10^6 元、 6.38×10^6 元,沫阳镇、边阳镇、凤亭乡、木引镇的ESV变化量相对较小,分别减少 4.90×10^6 元、 3.70×10^6

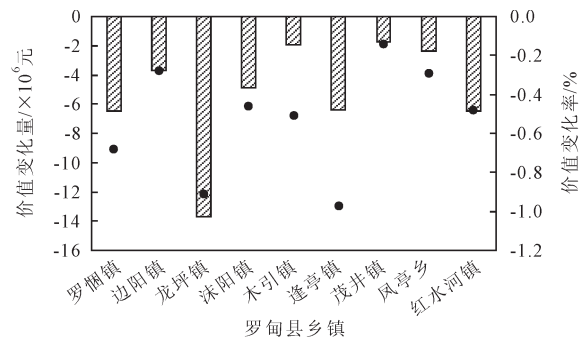


图3 2009-2016年罗甸县各乡镇生态系统服务价值变化
Fig.3 Change of ecosystem service value in each village and town of Luodian County during 2009-2016

元、 2.38×10^6 元、 1.96×10^6 元, *ESV*减少量最小的是茂井镇,变化率为-0.14%,且北部地区的生态系统服务价值减少量低于中部和南部地区。

根据研究区域不同乡镇生态系统服务价值的高低将其分为5类,并利用GIS软件,得到罗甸县生态系统服务空间分异图(图4)。总体来看,罗甸县各个乡镇面积和生态系统构成差异较大。可按照乡镇平均*ESV*的高低分为2类:(1)以边阳镇为代表平均*ESV*较低的北部地区,(2)以龙坪镇为代表的中部、南部地

区。在研究区的9个乡镇中,龙坪镇的*ESV*最高,2009年和2016年的生态系统服务价值分别为15.10亿元和14.96亿元,占全县总*ESV*的16.27%、16.21%,其次*ESV*较高的是红水河镇、边阳镇、茂井镇、沫阳镇、罗悃镇,*ESV*比例均>10%,风亭乡、逢亭镇、木引镇的*ESV*比例均<10%,其中木引镇的*ESV*最低,2009年和2016年的生态系统服务价值分别为3.84亿元和3.82亿元,所占比例为4.14%,对罗甸县生态系统服务价值的贡献率最小。

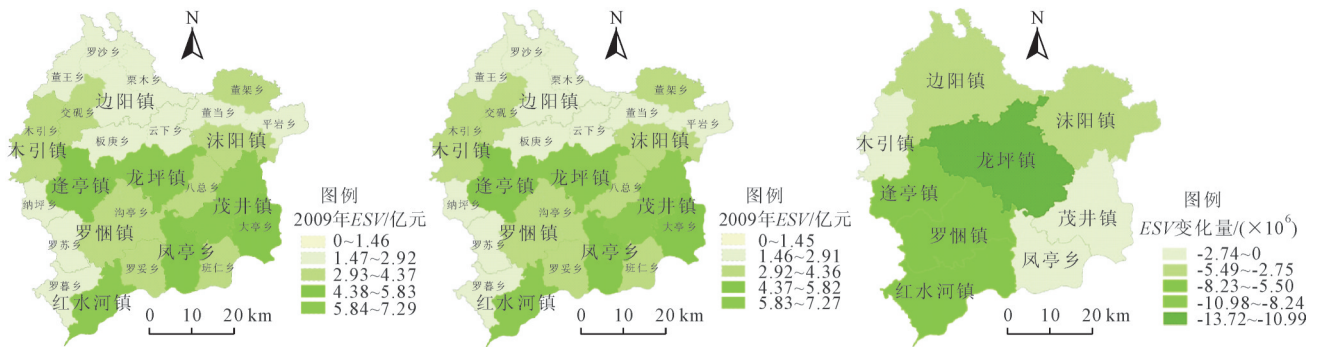


图4 罗甸县生态系统服务空间分异
Fig.4 Spatial distribution of ecosystem service value in Luodian County

3.2.3 生态系统单项服务价值变化

2009-2016年罗甸县除食物生产的生态系统服务价值呈上升趋势外,其余的生态系统单项服务价值变化均呈不同程度的下降趋势(图5)。其中食物生产的*ESV*增加了 0.38×10^6 元,在调节服务价值系数中林地和水域所占比例最高,所以罗甸县林地和水域面积的降低,导致调节服务的*ESV*的减少,其中气候调节和水文调节减少量最大,分别减少 13.07×10^6 元、 12.85×10^6 元。虽然研究区2009年和2016年各项生态系统服务的价值量有所波动,但是总体排序并未发生改变,依然是水文调节和气候调节构成罗甸县生态系统服务价值的主体,土壤保持、生物多样性、气体调节和净化环境次之,美学景观、原料生产、水源供给、食物生产的生态系统服务价值较小,维持养分循环的生态系统服务价值最低。

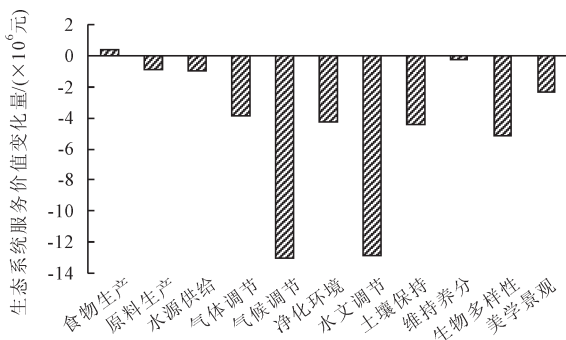


图5 罗甸县生态系统单项服务价值变化
Fig.5 Change of single ecosystem service value in Luodian County

3.3 敏感度分析

根据式(4),将耕地、园地、林地、草地、水域和未利用地的生态系统价值系数上下调整50%来估算研究区2009年和2016年的总服务价值和敏感性指数(表4)。数据表明,研究区各类土地利用类型在各种情况下的敏感性指数均低于1,其中,其他土地的*CS*最低,值约为0,表明当其他土地的*VC*增加1%时,*ESV*基本不会增加,这说明价值系数的准确性对生态系统服务总价值的影响不大;耕地、园地、草地、水域的*CS*也均低于0.2,由于罗甸县林地面积较大、价值系数较高,所以它的敏感性指数最高,2009年和2016年*CS*均达到0.60,表明当林地的生态价值系数增加1%时,总价值增加0.60%。总体而言,生态系统服务总价值是缺乏弹性的,说明本文结合罗甸县区域特征修正后的生态服务价值系数是合理的,研究结果是可借鉴的。

4 讨论

在研究区2009-2016年间土地利用格局中,林地所占面积最大,也是生态系统服务价值总量的主要贡献者。除耕地和建设用地有所增加外,其余土地类型均呈不同程度的下降,且建设用地的变化幅度最大。耕地面积的增加使食物生产单项的生态系统服务价值有所增加,但由于耕地的单位面积生态价值远远低于林地、园地、草地和水域的单位面积生态系统服务

表4 罗甸县价值系数对生态系统服务总价值敏感系数表
Table 4 Value of coefficient sensitivity of the total value of coefficient in Luodian County

价值系数	ESV($\times 10^6$ 元)		价值系数变化的影响			
	2009年	2016年	2009年		2016年	
			变化率/%	敏感性指数	变化率/%	敏感性指数
耕地 VC+50%VC	9 380.17	9 335.28	2.22	0.04	1.15	0.02
耕地 VC-50%VC	9 174.24	9 123.78	-2.22		-1.15	
园地 VC+50%VC	9 348.91	9 300.59	0.77	0.02	0.77	0.02
园地 VC-50%VC	9 205.50	9 158.47	-0.77		-0.77	
林地 VC+50%VC	12 047.20	11 986.82	29.86	0.60	29.87	0.60
林地 VC-50%VC	6 507.21	6 472.25	-29.86		-29.87	
草地 VC+50%VC	10 065.38	10 006.51	8.50	0.17	8.42	0.17
草地 VC-50%VC	8 489.02	8 452.56	-8.50		-8.42	
水体 VC+50%VC	10 180.83	10 131.10	9.74	0.19	9.77	0.20
水体 VC-50%VC	8 373.58	8 327.96	-9.74		-9.77	
其他土地 VC+50%VC	9 279.34	9 231.66	0.02	0	0.02	0
其他土地 VC-50%VC	9 275.07	9 227.40	-0.02		-0.02	

价值,并且研究区耕地面积的增加量也低于这些土地利用类型面积的总减少量,使得罗甸县2016年生态系统服务价值相较于2009年有所减少。

生态系统服务价值演变的驱动包括自然环境和人文影响两方面^[20]。区域生态系统服务价值不仅受高程、岩石类型等自然因素的影响^[21],综合城镇化、GDP总量等人文因素也是影响地区ESV变化的重要驱动力^[22]。而自然驱动力因素在短时期内对土地利用的动态变化的影响并不是很明显,人类活动对生态系统的干扰和破坏才是导致生态系统结构功能脆弱及生态系统服务价值降低的最主要原因。喀斯特地区有着特殊的生态系统,它是以岩溶环境为背景发育的喀斯特土壤保持重要区,其主要特征是植被覆盖度低、水土流失严重、石漠化面积大,生态系统极其脆弱^[23],而罗甸县属于西南地区典型的喀斯特山区县,山地多、平地少,地块零散且多为坡地。大部分可用于农用地的土地主要集中在地势比较平坦的居民点特别是集镇周围,且面积比例较小,林地主要分布在半山腰,山顶或海拔较高处则由于土壤贫瘠、水分缺乏等原因,主要为裸岩石砾地、荒草地等,因此受地形限制,可开发利用的土地面积小。2009-2016年期间,罗甸县总人口数量从33.60万增加到35.58万,其中城镇人口从26 316人增加到106 364人,使得土地利用率和集约化程度逐步上升。罗甸县GDP也从2009年的18.50亿增加到65.03亿元。其中,第一产业由66 269万元上升到151 678万元;第二产业由60 481万元上升到223 461万元;第三产业由58 204万元上升到275 125万元,反映出这8年期间罗甸县经济水平快速发展,所以对建设用地有了更高的需求,所以在城市化推动下,区域建设用地不断扩张,部分林地、草地等土地类型面积不断减少。综上所述,土地利用的

变化影响着研究区的生态结构,并且随着近几年罗甸县人口增长、经济发展、城市化水平的提高,其生态系统受到人类活动干扰,导致罗甸县2009-2016年生态系统服务价值有所减少。

从研究区土地利用空间分布上来看,北部生态系统服务价值明显高于中、南部地区。一部分原因与价值当量赋值的高低有关^[24],另一方面,北部地区是以碳酸岩为主的典型喀斯特丘陵、峰丛洼地交错发育地区,由于碳酸盐地区受地质背景的制约,岩石出露面积大,土层薄,不适合耕地,土地利用率低,水源匮乏,可能是造成北部地区边阳镇一带的生态系统服务价值普遍偏低的主要原因,中部和南部的生态系统服务价值明显高于北部可能与非喀斯特地区碎屑岩岩性特征相关,这部分问题仍是未来需要深入的研究工作。

5 结论

(1)在2009-2016年期间,耕地、交通运输用地和城镇村及工矿用地的面积呈上升趋势,其中,交通运输用地的变化幅度最大,动态度达到3.98%,其次是城镇村及工矿用地和耕地,动态度为1.16%、0.39%,其他土地利用类型的面积均呈下降趋势且变化幅度较小。由于研究区其他土地的利用率较低,耕地和建设用土地利用面积增加的同时,导致园地、林地、草地、水域面积不同程度的减少。

(2)随着罗甸县人口增加、经济发展和城镇化的快速推进,部分林地、草地等被占用且向建设用地转化,使建设用地面积增大。导致研究区生态系统服务价值由2009年 $9\ 277.20 \times 10^6$ 元下降到2016年的 $9\ 229.52 \times 10^6$ 元,ESV总体下降 47.67×10^6 元。其中林地的生态系统服务价值虽然有所下降,但在整个生态

系统服务总价值中仍然占据着主导地位。

(3)罗甸县北部喀斯特地区的ESV普遍较低,中部、南部非喀斯特地区的ESV值较高。9个乡镇中,龙坪镇的ESV最高,木引镇的ESV最低。2009–2016年期间,由于城镇化建设发展迅速,导致罗甸县各乡镇的ESV均呈现不同幅度的下降趋势,其中,龙坪镇减少量最大,8年共减少 13.72×10^6 元,ESV减少量最小的是茂井镇,减少值为 1.71×10^6 元。

(4)2009–2016年罗甸县除食物生产的生态系统服务价值增加 0.38×10^6 元,其余的生态系统单项服务价值变化均下降,其中气候调节和水文调节减少量最大,分别减少 13.07×10^6 元、 12.85×10^6 元。但是由于研究区林地、草地所占面积比重大,所以2009年和2016年各项生态系统服务的价值量总体排序并未发生改变,依然是水文调节和气候调节构成罗甸县生态系统服务价值的主体。

(5)2009、2016年罗甸县ESV对VC敏感性指数均 <1 ,说明ESV对VC不敏感,缺乏弹性,即结合罗甸县县域特征修正后的生态服务价值系统是合理的。

[参考文献]

- [1] 陈忠升,陈亚宁,李卫红,等.基于生态服务价值的伊犁河谷土地利用变化环境影响评价[J].中国沙漠,2010,30(4):870–877.
Chen Zhongsheng, Chen Yaning, Li Weihong, et al. Evaluating effect of land use change on environment in Ili Valley based on ecosystem service value analysis[J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(4):870–877.
- [2] 郑德凤,臧正,孙才志,等.基于生态系统服务理论的中国绿色经济转型预测分析[J].生态学报,2014,34(23):7137–7147.
Zheng Defeng, Zang Zheng, Sun Caizhi, et al. Prediction and analysis of the transition to green economy in China based on the theory of ecosystem services[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(23):7137–7147.
- [3] 韩会庆,罗绪强,郜红娟,等.土地利用变化对乌江源区生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2018,25(4):270–273.
Han Huiqing, Luo Xuqiang, Gao Hongjuan, et al. Impacts of land use change on ecosystem service values in source region of Wujiang River[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(4):270–273.
- [4] Gascoigne W R, Hoag D, Koontz L, et al. Valuing ecosystem and economic services across land-use scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA[J]. Ecological Economics, 2011, 70(10):1715–1725.
- [5] Costanza R, De Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. Global Environmental Change, 2014, 26(1):152–158.
- [6] Xie G D, Zhang C X, Zhang C S, et al. The value of ecosystem services in China[J]. Resources Science, 2015, 37(9):1740–1746.
- [7] 魏慧,赵文武,张骁,等.基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价—以山东省德州市为例[J].生态学报,2017,37(11):3830–3839.
Wei Hui, Zhao Wenwu, Zhang Xiao, et al. Regional ecosystem service value evaluation based on land use changes: a case study in Dezhou, Shandong Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(11):3830–3839.
- [8] 刘金勇,孔繁花,尹海伟,等.济南市土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响[J].应用生态学报,2013,24(5):1231–1236.
Liu Jinyong, Kong Fanhua, Yin Haiwei, et al. Land use change and its effects on ecosystem services value in Ji'nan City of Shandong Province[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(5):1231–1236.
- [9] 国洪磊,周启刚.三峡库区蓄水前后土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2016,23(5):222–228.
Guo Honglei, Zhou Qigang. Effect of land use change on ecosystem service value pre and post the water storage in the Three Gorges Reservoir area[J]. Research of Soil & Water Conservation, 2016, 23(5):222–228.
- [10] 张舟,吴次芳,谭荣.生态系统服务价值在土地利用变化研究中的应用:瓶颈和展望[J].应用生态学报,2013,24(2):556–562.
Zhang Zhou, Wu Cifang, Tan Rong. Application of ecosystem service value in land use change research: bottlenecks and prospects[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(2):556–562.
- [11] 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):308–312.
Gao Qi, Shi Xueyi, Huang Qin, et al. Ecosystem service value respond to regional land use change[J]. China Population Resources & Environment, 2013(23):308–312.
- [12] 宋贤威,高扬,温学发,等.中国喀斯特关键带岩石风化碳汇评估及其生态服务功能[J].地理学报,2016,71(11):1926–1938.
Song Xianwei, Gao Yang, Wen Xuefa, et al. Rock-weathering-related carbon sinks and associated ecosystem service functions in the karst critical zone in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(11):1926–1938.
- [13] 苏琪娇,安裕伦,马士彬.喀斯特山区不同岩性分区下的景观生态质量差异:以罗甸县为例[J].中国岩溶,2017,36(4):454–462.
Su Qijiao, An Yulun, Ma Shibin, et al. Landscape ecological

- quality of different lithological regions in karst mountains: a case study in Luodian County of Guizhou Province[J]. *Carologica Sinica*, 2017, 36(4):454-462.
- [14] 王思远,刘纪远,张增祥,等. 中国土地利用时空特征分析[J]. *地理学报*, 2001, 56(6):631-639.
Wang Siyuan, Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, et al. Analysis on spatial-temporal features of land use in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(6):631-639.
- [15] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 386: 253-260.
- [16] 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.
Xie Gaodi, Zhen Lin, Lu Chunxia, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5):911-919.
- [17] 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.
Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Leiming, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(8):1243-1254.
- [18] 李偲,韩桂红,海米提依米提,等. 土地利用变化对喀纳斯自然保护区生态系统服务价值的影响[J]. *地域研究与开发*, 2011, 30(3):123-127.
Li Si, Han Guihong, Hymit Yimitb, et al. Effects of land use change on the service value of ecosystem in karst natural reserve[J]. *Areal Research & Development*, 2011, 30(3):123-127.
- [19] Curtis I A. Valuing ecosystem goods and services: a new approach using a surrogate market and the combination of a multiple criteria analysis and a Delphi panel to assign weights to the attributes[J]. *Ecological Economics*, 2004, 50(3/4):63-194.
- [20] Wang S X, Wu B, Yang P N. Assessing the changes in land ecosystem services in an oasis agricultural region of Yangqi Basin, northwest China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2014, 186(12):8343-8357.
- [21] 张明阳,王克林,刘会玉,等. 桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征[J]. *生态学报*, 2011, 31(14):3947-3955.
Zhang Mingyang, Wang Kelin, Liu Huiyu, et al. The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(14): 3947-3955.
- [22] 罗盛锋,闫文德. 广西北部湾沿岸地区生态系统服务价值变化及其驱动力[J]. *生态学报*. 2018, 38(9):1-12.
Luo Shengfeng, Yan Wende. Evolution and driving force analysis of ecosystem service values in Guangxi Beibu Gulf coastal areas, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(9): 1-12.
- [23] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. *生态学报*, 2000, 20(1):9-12.
Ouyang Zhiyun, Wang Xiaoke, Miao Hong. China's eco-environmental sensitivity and its spatial heterogeneity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(1):9-12.
- [24] 穆松林,郭群. 内蒙古自治区温带草原生态系统服务价值评估及空间特征[J]. *北方园艺*, 2018(18):94-101.
Mu Songlin, Guo Qun. Ecosystem service value assessment and its spatial patterns in temperate grassland of Inner Mongolia[J]. *Northern Horticulture*, 2018(18):94-101.